

**UNTERSUCHUNG
ÜBER ANWENDBARKEIT VON BRÜCKEN
MIT FREIENDGLIEDERN
IM PRÄMOLAREN- UND MOLARENBEREICH**

KLAUS STÜRMER

1976



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Klinik
und Poliklinik für Zahn- Mund- und Kieferkrankheiten der

Johannes-Gutenberg-Universität Mainz

Untersuchung über Anwendbarkeit
von Brücken mit Freiangliedern
im Prämolaren- und Molarenbereich

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von:

KLAUS STORMER

aus Nürnberg

Mainz

1976

Fachbereichsdekan

Prof. Dr. K. Fuhr

1. Gutachter

Prof. Dr. K. Fuhr

2. Gutachter

Prof. Dr. H. Marx



INHALTSVERZEICHNIS

A	Einleitung	Seite: 1
	1) Psychische Probleme	Seite: 1
	2) Implantate	Seite: 3
	3) Freidendbrücken	Seite: 5
B	Hauptteil	Seite: 13
	1) Kaukräfte bei Nahrungszerkleinerung	Seite: 13
	2) Kaukräfte bei Parafunktionen	Seite: 47
	3) Das Paradontium und seine Reaktionen auf einwirkende Kräfte	Seite: 63
	4) Verformung des Zahnes durch einwirkende Kräfte	Seite: 68
	5) Bewegung des Zahnes durch einwirkende Kräfte	Seite: 80
	6) Betrachtung der Wurzelhaut und der Kieferknochen unter statischen und dynamischen Gesichtspunkten	Seite: 102
	7) Irreversible, kurzfristige Auswirkungen von unphysiologischen Kräften	Seite: 109
	8) Irreversible, langfristige Auswirkungen von unphysiologischen Kräften	Seite: 112
	9) Ursachen extraaxialer Kräfte	Seite: 116
	10) Extraaxiale Kräfte in der Kieferorthopädie	Seite: 120
	11) Diskussion	Seite: 132
C	Zusammenfassung	Seite: 135
D	Literatur	Seite: 137
E	Lebenslauf	Seite: 145

INHALT

1. Einleitung	Seite 1
2. Die Bedeutung der Arbeit	Seite 2
3. Die Aufgaben der Arbeit	Seite 3
4. Die Organisation der Arbeit	Seite 4
5. Die Durchführung der Arbeit	Seite 5
6. Die Kontrolle der Arbeit	Seite 6
7. Die Bewertung der Arbeit	Seite 7
8. Die Förderung der Arbeit	Seite 8
9. Die Entwicklung der Arbeit	Seite 9
10. Die Zukunft der Arbeit	Seite 10
11. Die Bedeutung der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 11
12. Die Aufgaben der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 12
13. Die Organisation der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 13
14. Die Durchführung der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 14
15. Die Kontrolle der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 15
16. Die Bewertung der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 16
17. Die Förderung der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 17
18. Die Entwicklung der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 18
19. Die Zukunft der Arbeit für die Gesellschaft	Seite 19
20. Die Bedeutung der Arbeit für die Menschheit	Seite 20
21. Die Aufgaben der Arbeit für die Menschheit	Seite 21
22. Die Organisation der Arbeit für die Menschheit	Seite 22
23. Die Durchführung der Arbeit für die Menschheit	Seite 23
24. Die Kontrolle der Arbeit für die Menschheit	Seite 24
25. Die Bewertung der Arbeit für die Menschheit	Seite 25
26. Die Förderung der Arbeit für die Menschheit	Seite 26
27. Die Entwicklung der Arbeit für die Menschheit	Seite 27
28. Die Zukunft der Arbeit für die Menschheit	Seite 28
29. Die Bedeutung der Arbeit für die Welt	Seite 29
30. Die Aufgaben der Arbeit für die Welt	Seite 30
31. Die Organisation der Arbeit für die Welt	Seite 31
32. Die Durchführung der Arbeit für die Welt	Seite 32
33. Die Kontrolle der Arbeit für die Welt	Seite 33
34. Die Bewertung der Arbeit für die Welt	Seite 34
35. Die Förderung der Arbeit für die Welt	Seite 35
36. Die Entwicklung der Arbeit für die Welt	Seite 36
37. Die Zukunft der Arbeit für die Welt	Seite 37
38. Die Bedeutung der Arbeit für die Zukunft	Seite 38
39. Die Aufgaben der Arbeit für die Zukunft	Seite 39
40. Die Organisation der Arbeit für die Zukunft	Seite 40
41. Die Durchführung der Arbeit für die Zukunft	Seite 41
42. Die Kontrolle der Arbeit für die Zukunft	Seite 42
43. Die Bewertung der Arbeit für die Zukunft	Seite 43
44. Die Förderung der Arbeit für die Zukunft	Seite 44
45. Die Entwicklung der Arbeit für die Zukunft	Seite 45
46. Die Zukunft der Arbeit für die Zukunft	Seite 46

A Einleitung

Ein in der Praxis des Zahnarztes immer wiederkehrendes Problem ist der Wunsch des Patienten, nach Verlust von Zähnen wenigstens festsitzenden Zahnersatz eingegliedert zu erhalten. Mannigfaltig kann die psychische Belastung gerade eines jüngeren Patienten sein, wenn ihm der Zahnarzt eröffnet, daß in seinem Fall nur der herausnehmbare Zahnersatz indiziert sei. Der Patient fühlt sich "um Jahre gealtert", "zum alten Eisen gehörend", "nicht mehr vollwertig". Er meint, er könne jetzt nicht mehr richtig sprechen, der Gesprächspartner würde ihn nicht mehr "für voll nehmen", und beim Essen in einem öffentlichen Restaurant kämen unüberwindliche Schwierigkeiten auf ihn zu. Der behandelnde Zahnarzt benötigt hier viel Einfühlungsvermögen und Überzeugungskraft, um dem Patienten über diese Probleme etwas hinwegzuhelfen.

1. Psychische Probleme

"Die psychischen Probleme erklären sich aus der Sonderstellung der Mundregion"(31)

"1. Die orofaziale Region ist im Vergleich zu anderen Körperteilen viel ausgedehnter und gegliederter im Gehirn, und zwar in der Großhirnrinde repräsentiert. Dort nimmt die Mundpartie auf den motorischen und sensiblen Feldern der Prä- und Retrozentralregion des Scheitelhirns einen vielfach größeren Raum ein als die anderen Körperteile

..... In keinem anderen Teil der Körperoberfläche, die bewußt wahrgenommen wird, findet ein so häufiger Wechsel von Organteilen statt, wie im Mund. Ohne Zähne auf die Welt kommend, lebt der Säugling abhängig von der Intaktheit seiner oralen Reflexe. Später erfolgt die erste Dentition mit stark veränderten subjektiven und objektiven Gegebenheiten im Mund. Noch später folgen Zahnverlust und -wachstum, sich oft wiederholend und ständig wechselnd. Im mittleren und höheren Lebensalter kommt es dann häufig zu einem nochmaligen Zahnverlust, der nun durch ein Kunstprodukt, d.h. durch eine

Prothese ersetzt wird.

Dieser ständige Wechsel der körperlichen Befunde im Mund bedingt auch einen ebenso häufigen Wechsel der seelischen Situation

Auch vom psychologischen Aspekt her gesehen, hebt sich die orofaziale Region aus dem übrigen Körperschema heraus: 1.) Der Mensch kommt im Vergleich zu den anderen Säugetieren als Frühgeburt auf die Welt (40), wobei u.a. die Sinnesorgane noch funktionsunfähig sind, bis auf die taktilen Sinne, vor allem in Umkreis des Mundes. Von diesem Körperteil aus lassen sich eng an den Nahrungstrieb gekoppelte Reflexe auslösen, die sich teilweise noch auf die Hände ausdehnen (Greifreflexe). Erst während der ersten Lebensmonate reifen die Sinnesorgane bis zu ihrer Funktionstüchtigkeit aus.

2) Mit Recht ist das erste Stadium der Entwicklung als "orales Stadium" bezeichnet worden, da in dieser Zeit die mit der Mundzone zusammenhängenden Triebregungen lebensentscheidend sind. So wird von Geburt an das ganze seelische Leben des Menschen in den ersten Monaten ausschließlich von der oralen Thematik beherrscht. Sie ist von dem Nahrungstrieb als einem der elementarsten Triebe bestimmt. Weiter gehört zur oralen Thematik das Kaptative, das ist das Habenwollen. Gerade unter dieser doppelten Thematik wird verständlich, wie beherrschend die Oralität für den Menschen sein kann. Dazu kommt, daß auch der Erwachsene auf die früher durchlaufenen Stadien in der Entwicklung zurückfallen kann.

Somit wird aus dem somatischen und psychologischen Aspekt heraus die Sonderstellung der Mundregion verständlich. Sie muß bei der Adaptation und Inkorporation eine Rolle spielen " (31)

"Die Sicherheit des festen Haltes verschafft die psychische Sicherheit, der die Täuschung ohne die Gefahr einer Demaskierung gelungen ist. Die Brücke wird vollständig assimiliert." (39)

Die Prothese als herausnehmbarer Ersatz ist und bleibt nach Peterhans (39) ein "physischer und psychischer Fremdkörper, eine Dauerimprovisation." "Die Prothese ist der künstliche Ersatz eines Organs und hat die Aufgabe, die verlorengegangene Funktion wieder herzustellen (WILD). Die Verbesserung des Kauvermögens und des Aussehens hat eine psychologische Bedeutung: Funktionsverbesserung des ganzen Menschen durch Vervollständigung des Fehlenden in seiner Erscheinungsform, das heißt "Aufwertung" des ganzen Menschen. Diese Zweckbestimmung wird jedoch durch die menschliche Psyche fragwürdig, da der Mensch die Prothese als "Maske" empfindet. Diese Maske ist die Objektivation eines Naturbetruges mit allen psychischen Konsequenzen. Es ist ein Täuschungsmanöver, ein Tun "als ob", eine Vorspiegelung falscher Tatsachen, und das Bewußtsein wie auch das Unbewußte reagieren mit einer angstvollen Erwartung, daß dieser "Betrug" an den Tag kommt. Gegen dieses Schuldgefühl wehrt sich der Prothesenträger bewußt und unbewußt, und je nachdem sein Wille zum Leben stark ist oder schwach, kommt es zum Kompromiß (Adaptation) oder zur neurotischen Verarbeitung (Nichtadaptation)." (39)

Mit der Eingliederung eines festsitzenden Ersatzes (Brücke) kann also der Zahnarzt einen Großteil der geschilderten Problematik umgehen. Es war daher schon immer dessen Bestreben, bei Fehlen brückenfeldbegrenzender Pfeilerzähne oder zu großen Spannweiten Möglichkeiten zu finden, seinen Patienten doch noch mit festsitzendem Ersatz zu versorgen. Es bot sich hierbei das große Gebiet der Implantologie an und die Ausbildung von Brückenfeldern als Kragarme (Freiendglieder).

2. Implantate

Zur Implantologie schreibt KROGER (30): "... Auf Implantatpfeilern können auch Stiftzähne, sowie Kronen mit Brückenteilen verankert werden, so daß die Implantate nicht nur

bei Alveolarkammatrophie zur Verbesserung des Sitzes herausnehmbarer Prothesen verwendet werden, sondern auch zum Ersatz von Einzelzähnen und zur Befestigung von Brückenteilen, wenn vom Patienten ein fester Ersatz gewünscht wird, obgleich die vorhandene Bezahnung dafür nicht mehr ausreicht. (Z.B. verkürzte Zahnreihe). Die Problematik dieser Implantate liegt insbesondere darin begründet, daß nach ihrer Einpflanzung eine Wundheilung im Bereich der Pfeiler nicht erfolgen kann..... Auch im Bereich der Mundhöhle werden solche Implantate zum Teil innerhalb weniger Monate vom Organismus eliminiert. In anderen Fällen kommt es jedoch zur bindegewebigen Einscheidung, wobei sich an den Pfeilern ein "Epithelkragen" ausbildet Ein weiterer Nachteil der Implantate ist darin zu erblicken, daß sie die Belastungen durch die Prothese als Druckkräfte auf den Knochen übertragen und so einen überstürzten Knochenabbau provozieren können. Die Implantologie ist aus diesen Gründen bis heute eine umstrittene Methode geblieben, vor allem auch deshalb, weil exakte Erfolgsstatistiken von ihren Pionieren und Verfechtern bisher nicht publiziert wurden. Trotz aller Imponderabilien kann kein Zweifel darüber bestehen, daß Implantate bei günstig gelagerten Fällen für eine längere Zeit toleriert werden können. So wurden Fälle mitgeteilt, bei denen subperiostale Implantate zehn Jahre und länger getragen wurden Aufgrund einer Schätzung von RHEINWALD werden nur etwa 50 % aller intraossären Implantate toleriert, die durchschnittliche Verweildauer im Kiefer soll drei bis vier Jahre betragen Die Indikation für die Eingliederung von Implantaten ist demnach eng zu ziehen. So kann es etwa bei Schauspielern, Sängern und Bläsern wichtig sein, die Berufsfähigkeit durch Implantate für einige Jahre zu verlängern. Bei anderen Patienten kommt eine solche Lösung nur in Frage, wenn die Abneigung vor dem herausnehmbaren Ersatz so groß ist, daß sie eine Zwischenlösung für eine begrenzte Zeit akzeptieren."

3. Freiendbrücken

Was nun die zweite Ausweichmöglichkeit, den Kragarm (Freiendglied) anbelangt, so mußte es den Verfasser als Bauingenieur reizen, mit Hilfe der vorhandenen Literatur und mit ingenieurmäßigem Wissen zu prüfen, inwieweit sich die Indikationsstellung hierfür über das Maß der derzeitigen deutschen Lehrmeinung hinaus erweitern ließe. Der Schwede HEDEGARD z.B. ist der Ansicht, daß bei exakt durchgeführter Mundhygiene freiendende Brückenglieder im Molarenbereich durchaus indiziert sind. Er beweist dies anhand von Beispielen, wo sich Freiendbrücken bereits bis zu 16 Jahren ohne negative Auswirkungen im Munde des Patienten befinden.

Als Beispiel für die derzeitige deutsche Lehrmeinung sei hier K. FUHR zitiert (12): "... Ähnlich ungünstig in Beziehung auf Biegungs- und Kippmomente liegen die Verhältnisse bei einer Freiendbrücke, die nach statischen Gesichtspunkten mit einem nur einseitig eingespannten Balken verglichen werden kann. Die auf das Freiendglied einwirkenden Belastungen beanspruchen den oder die tragenden Pfeiler auf Kipp- und Drehmomente und die Verbindungsstelle verstärkt auf Biegemomente. Die Kippmomente sind dabei vor allem in vestibulo-oraler Richtung außerordentlich hoch, weswegen auch in diesen Fällen eine Endpfeilerbrücke, also die Ausdehnung des festsitzenden Ersatzes, eher zu erwägen ist. Ist dies aus biologischen Gründen nicht möglich, so sind der Indikation für die freiendende Brücke doch engere Grenzen gesetzt. Nach statischen Überlegungen ist sie nur indiziert, wenn Kipp- und Drehmomente weitgehend eliminiert werden können. Dies ist umso wahrscheinlicher, je schmaler das Freiendglied gestaltet werden kann, je weitspanniger die Verbindung der stützenden Pfeilerzähne ist und je günstiger die okklusartikulären Verhältnisse sind, d.h. eine extra-axiale Belastung des Freiendgliedes in der Interkuspidationsstellung bei Vorschub- und Seitwärtsbewegungen vermieden werden kann. Es ist einleuchtend, daß dies vor allem in Gebissen mit einer günstigen sagittalen und transversalen Kompensationskurve möglich ist. Die Indikation wird erweitert, wenn

bei der Überlegung zum Ersatz eines fehlenden seitlichen Schneidezahnes eine anteriore Nonokklusion besteht und bei den zu fordernden minimalen Lateralbewegungen im Eckzahnbereich die Seitenzahnreihen aneinander abgestützt sind"

"....Bei der Modellanalyse und der klinischen Untersuchung wird also die Zahl der fehlenden Zähne Richtlinien für die auszuwählende Zahl der benötigten Pfeiler geben. Handelt es sich darum, einen einzelnen fehlenden Zahn zu ersetzen, so genügt dafür rein rechnerisch ein Pfeilerzahn. Aus den statischen und funktionellen Betrachtungen über die Belastbarkeit von Einzelzähnen ist aber bekannt, daß in einem solchen Fall ein ungünstiges Verhältnis von Tragfähigkeit und Belastung resultiert: Der tragende Pfeiler wird durch das Freidendglied auf Kippung und Drehung beansprucht. Eine Indikation für eine auf einem Pfeiler verankerte spannlose Freidendbrücke ist danach nicht gegeben. Für den Ersatz eines fehlenden Zahnes werden daher zwei Pfeiler benötigt, wobei entweder eine Endpfeilerbrücke oder eine einarmige, spannlose Freidendbrücke eingefügt wird. Die Endpfeilerbrücke kann dabei als statisch günstig bezeichnet werden, wogegen die spannlose einarmige Freidendbrücke nur in Ausnahmefällen angezeigt ist, so z.B. zum Ersatz des oberen seitlichen Schneidezahnes, wobei der Eckzahn und der erste Prämolare als Pfeiler geeignet sind. Auch ein fehlender erster Prämolare kann in günstigen Fällen durch eine auf den zweiten Prämolaren und dem ersten Molaren verankerte Brücke ersetzt werden. Problematisch aber bleibt der Ersatz des fehlenden Eckzahnes ebenso durch eine spannlose Freidendbrücke wie durch eine einspannige Endpfeilerbrücke. Nur in Ausnahmefällen wird hier die auf beiden Prämolaren verankerte Brücke angezeigt sein. Grundbedingung hierzu ist, daß der erste Prämolare praktisch die Funktion des Eckzahnes übernimmt und alle vertikalen, horizontalen und sagittalen Belastungen von dem freidendenden Eckzahnglied ferngehalten werden können. Daß ein funktionell schwacher Gegenkiefer hierzu genauso notwendig ist wie die volle funktionelle Be-

lastungsfähigkeit des korrespondierenden Kieferabschnittes ist bei dieser Überlegung selbstverständlich.

Weitere Voraussetzungen für freiliegende Konstruktionen sind vor allem äquilibrierte Artikulationsverhältnisse, d.h. daß das Brückenglied weder bei Vorschub- noch bei Seitwärtsbewegungen des Unterkiefers extraaxialen Belastungen ausgesetzt wird. Für die Konstruktion des Freiliegendes bedeutet dies, daß es sehr schmal gestaltet und die Okklusionsfläche reduziert werden muß, um Kippungs- und Torsionsmomente minimal halten zu können. Das beinhaltet, daß die Form des Freiliegendes auf keinen Fall nach anatomischen, sondern ausschließlich nach funktionellen Gesichtspunkten zu gestalten ist.

Aus der von posterior nach anterior gerichteten Hauptbelastung des mastikatorischen Systems ergibt sich, daß nach distal freiliegende Brückenglieder Dreh- und Kippmomente notwendigerweise auf die tragenden Pfeiler verstärken müssen; deswegen sind sie in der Seitenzahnreihe in keinem Fall angezeigt

Eine Freiliegende Brücke zum Ersatz zweier benachbarter fehlender Zähne ist, gleichgültig wieviel Pfeiler als Anker verwendet werden, wegen der auf den langen Hebelarm wirkenden Kippmomente und wegen der auftretenden Biegebelaugung in keinem Fall zulässig."

Auch HAUPL (13) schreibt auf S. 472 u.a.: "Auch die unzumutbare Konstruktion von Extensionsbrücken kann zu Überbelastungen der Pfeilerzähne führen. Es soll höchstens ein Zahn "angehängt" werden, und zwar möglichst nur mesialwärts. So kann der seitliche Schneidezahn an eine Brücke angefügt werden, die den Eckzahn mit dem zweiten Prämolaren verbindet. Zwei Anhänger sind abzulehnen, ebenso die Verlängerung einer Brücke nach distal zum Ersatz eines Molaren."

Bei VEST (59) heißt es auf S. 358: "...Freiliegende Brücken, bei welchen der Brückenkörper nur an einem Ende von Pfeilerzähnen gestützt wird, während das andere Ende ohne

jede Verbindung mit einem Zahn bleibt, werden als Freie-
ndbrücken bezeichnet. Der nur einseitig gestützte Brük-
kenkörper wirkt als Hebelarm, der die ihn treffenden Kau-
druckkomponenten auf den Pfeilerzahn überträgt und diesen
kippt und mit der Zeit lockert. Dieser Prozess tritt auch
dann ein, wenn der Freie-ndbrückenkörper auf mehreren Pfei-
lerzähnen verankert wird. Infolge der Kippung und zuneh-
menden Lockerung der Pfeilerzähne drückt der Brückenkörper
auf die Schleimhaut und sinkt mehr und mehr in diese ein.
Infolgedessen kommt es zur Entzündung, Schwellung und zur
Gangraena per decubitus der Schleimhaut. Aus diesen Grün-
den sind Freie-ndbrücken streng kontraindiziert." Weiter
heißt es auf Seite 107: "... Leitsatz 5: Durch eine außer-
halb der Pfeiler angreifende Kraft wird der näherliegende
Pfeiler P2 durch die ganze Kraft K und zusätzlich noch durch
die Kraft P1 belastet. Diese starke Beanspruchung erfolgt
auf Druck, während am anderen Pfeiler eine kleinere Kraft,
und zwar eine Zugkraft angreift. Je weiter der Angriffs-
punkt der Kraft K nach außen rückt, umso größer werden die
Pfeilerkräfte; Freie-ndbrücken sind statisch unzulässige Kon-
struktionen und deshalb kontraindiziert. Sie verursachen
früher oder später Lockerung der Pfeiler."

Es gab oder gibt aber auch Lösungen, nachteilige extra-
axiale Belastungen an Pfeilerzähnen durch aufwendige Kon-
struktionen unter Zuhilfenahme der Tragfähigkeit des Tegu-
mentes auszuschalten. Unter dem Titel "Grenzen des fest-
sitzenden Zahnersatzes und Übergänge zum abnehmbaren Zahn-
ersatz" schreibt SINGER (53) 1954: "Für das Problem der ein-
seitig verkürzten Zahnreihe ist eine Serie von Lösungen an-
gegeben worden, die von BENNET, KENNEDY, STARKE, STEIGER,
BIAGGI, BEAT, MÖLLER, GOTTLIEB, FISCHER u.a. stammen, alles
ziemlich komplizierte, kostspielige Konstruktionen, die auf
der vollbezahnten Gegenseite Halt suchen und die feste Schie-
nung zweier oder mehrerer Zähne notwendig machen. Dem Wun-
sche zufolge, so wie bei der festen Brücke den Raum für den
Ersatz womöglich nur auf die zu ersetzenden Zähne zu be-
schränken, sind in bezug auf die Freie-ndsättel Lösungen ent-

standen, deren Gedankengänge kurz dargelegt werden sollten.

Die Konstruktionen des Amerikaners BENNET waren längst vergessen, als DARCISSAC im Jahre 1948 mit seiner Freundsbrücke, der Bridge-Ammorti, welche wir am besten mit "gepuffter Brücke" übersetzen, vor die Öffentlichkeit trat. Die beiden letzten Zähne vor dem Freundsattel werden fest verbunden. Die Bridge-Ammorti selbst, welche die fehlenden Zähne ersetzen soll, besteht aus einem an die distale Seite der letzten Krone angelöteten Haltesteg und dem darauf mittels einer Hohlchiene reitenden abnehmbaren Brückenkörper; eine oder zwei durchgehende Schrauben fixieren den Brückenkörper am Steg, jedoch nicht im Sinne einer starren Verschraubung, sondern, dank ovaler statt runder Bohrlöcher, kann sich der Brückenkörper unter dem Einfluß des Kaudruckes senken, wobei ein zwischen dem Dach der Hohlchiene und der inzisalen Kante des Steges eingelegter elastischer Körper (früher Gummi, jetzt eine Metallfeder), die eigentliche Pufferung darstellt, d.h. jeweils beim Nachlassen des Kaudruckes den Brückenkörper in die Ausgangslage zurückbringt.

Der Steg ist an der oberen Kante gezackt, um genügend Platz für die Pufferung zu schaffen; er dehnt sich nach distal ungefähr auf $\frac{2}{3}$ der Sattellänge aus und ist an die distale, genau vertikal eingestellte Fläche der letzten Krone dermaßen angelötet, daß er an die Innenlinie der 3 mm Satteltbreite, also lingual bzw. palatinal zu liegen kommt. Die Hohlchiene ist mit Haftdellen für den Kunststoff und den beiden Bohrlöchern für die Schrauben versehen.

Bei der fertigen Bridge-Ammorti berührt in Ruhelage der Brückensattel kaum die Schleimhaut, die erst unter Einfluß des Kaudruckes leicht komprimiert wird.

Zweifellos erscheint auf den ersten Blick die Konstruktion DARCISSAC's so gut wie undurchführbar, ist doch uns allen aus der prothetischen Praxis bekannt, wie ungünstig sogenannte "freie Ausleger", die leider immer wieder angetroffen werden, auf selbst ausgedehnte, gut verankerte feste Brücken sich auswirken können. Kostspielige, einwandfreie

Konstruktionen haben durch solche zusätzlichen Freieinglieder Schiffbruch erlitten.

Eine einfache statische Betrachtung führt die ungünstige Kräfteverteilung klar vor Augen: bei Belastung in der Brückenmitte verteilt sich der Kaudruck je zur Hälfte auf die Pfeilerzähne; bei Belastung am Ende des Auslegers hingegen wird der Pfeiler B durch Auswirkung des Hebelarmes mit dem 1 1/2-fachen Kaudruck belastet, während der Pfeiler A mit dem halben negativen Kaudruck aus der Alveole herausgezogen wird.

Die Praxis aber hatte gezeigt und DARCISSAC konnte anhand von klinischem und röntgenologischem Material beweisen, daß seine Konstruktionen sich jahrelang im Munde bewährten, d.h. die Pfeilerzähne nicht geschädigt hatten.

Aufbauend auf den Erfahrungen DARCISSAC's hat der Florentiner ZUCCOLI eine Freieingliederbrücke unter dem Namen "Monoreduktor" konstruiert, welche gegenüber der Konstruktion DARCISSAC's eine gewisse Verbesserung darstellt und in Italien weitgehend in die prothetische Praxis Eingang gefunden hat.

Der Monoreduktor besteht ähnlich wie die Bridge-Ammorti 1. aus einem genau über den Grat des Alveolarkammes verlaufenden Steg, dessen endständiger Flügelfortsatz zur Verlötung mit der distalen Fläche des letzten Ankers dient; in die buccale Fläche des Steges sind zwei ovale Nischen eingelassen; 2. aus einer Hohlschiene, welche auf dem Steg reitet und, den ovalen Nischen des Steges entsprechend, zwei runde Fensterchen aufweist, auf denen in horizontaler Richtung quaderförmige Kanülen sitzen; in diesen befinden sich:

- a) eine Kugel, deren Durchmesser etwas größer ist, als der des Fensterchens, so daß nur ein Teil der Kugelkalotte nach innen ragen kann;
- b) eine Spiralfeder, die die Kugel gegen das Fenster preßt;
- c) eine Verschlußschraube.

Wenn der Sattel auf den Steg gesetzt wird und die Kugeln in die ovalen Nischen nach Art einer Nachttisch-Schublade

einschnappen, so muß zwischen dem Dach der Hohlschiene und der inzisalen Kante des Steges ein Funktionsraum von mindestens 1 1/2 mm entsprechend der Resilienz der Schleimhaut freibleiben. Wenn es unter Einwirkung der Kaufunktion, besonders in der ersten Zeit zu Resorptionen und anschließendem Absinken der Plattenbrücke kommt, wird eine Unterfütterung nötig, die jedoch erfahrungsgemäß später nicht wiederholt werden muß: durch die funktionelle Inanspruchnahme ist es in Schleimhaut und Knochen zu Gewebsverdichtungen gekommen, wodurch weitere Resorptionen auf längere Sicht abgebremst werden. (GROHS)

Außerdem zeigt die Druckatrophie ein viel geringeres Ausmaß als bei gestützten Prothesen, da einerseits der Steg die Platte von Schleimhaut und Knochen abhält, andererseits der breite Sattel die Einwirkung von Zungen- und Wangenmuskulatur auf den Alveolarfortsatz verhindert.

Außer als Freundplattenbrücke hat der Monoreduktor eine spezielle Indikation als Brückenzwischenglied bei schwachem oder zweifelhaftem Endpfeiler, welcher durch die gingivale Druckaufnahme entlastet wird und im Falle seiner Extraktion keine Änderung der Konstruktion nach sich zieht.

Als Methode der Wahl findet der Monoreduktor bei Brücken mit großer Spannweite Anwendung. Im allgemeinen werden wohl nur kleine Brücken empfohlen (THIELEMANN), diese Ansicht finden wir auch im amerikanischen Schrifttum vertreten; wenn wir aber bei günstigen Bißverhältnissen beispielsweise die zwischen 3er und 7er fehlenden Zähne nicht mit einer abnehmbaren Prothese ersetzen wollen, so werden der mit den beiden Brückenankern des 3ers und 7ers verlötete Steg und die Ankerzähne selbst bei Einwirkung des Kaudrucks durch die breit gingival gepufferte Plattenbrücke weitgehend entlastet. Dem kosmetisch guten Aussehen ist Rechnung getragen, besonders bei starken Kieferdefekten nach vorhergegangenen chirurgischen Eingriffen, ebenso der Forderung nach hygienischen und funktionell-biologischen Verhältnissen, da die Plattenbrücke vom Patienten selbst

abgenommen und gereinigt, vom Zahnarzt unterfüttert werden kann.

Es sind an der Universitätszahnklinik Bologna über tausend Fälle mit Monoreduktoren versorgt und nach 2- bzw. 3-jährigem Tragen einer klinischen und röntgenologischen Kontrolle unterzogen worden, welche die denkbar günstigsten Resultate zeitigte. Subjektiv hat der Patient nicht das Gefühl einer Prothese, da Klammern, Bügel, Gelenke usw. wegfallen; außerdem lauten alle Patientenurteile gleichmäßig dahin, daß die Kaufunktion mit dem Monoreduktor der des eigenen Gebisses fast gleichkommt."

B Hauptteil

1. Kaukräfte bei Nahrungszerkleinerung

Um nun Anwendungsmöglichkeiten freiliegender Konstruktionen zu finden, ist es zunächst einmal notwendig zu untersuchen, welche Kräfte generell auf die Zähne einwirken. Die Belastungen, die beim Kauen auftreten, sind relativ gut ermittelt. Schon 1681 beschäftigte sich der Italiener BORELLI mit diesem Thema. (4). Eine grundlegende Arbeit mit einer Auswertung eines Großteils der vorausgehenden Literatur veröffentlichte H. UHLIG 1953 (58). Hier heißt es u.a.: "... Historische "Kaudruck"-Messungen .

Verständlicherweise bemühte man sich zunächst darum, die Größe des sogenannten Kaudruckes zu ermitteln. Als Erster hat sich hieran wohl der ital. Anatom BORELLI versucht. Er legte bei geöffnetem Mund eine Schlinge über die unteren Molaren, band sie unter dem Kinn zusammen und befestigte daran ein Gewicht. Da diese Messung nicht nur die Kau-muskeln, sondern auch die Nackenmuskulatur in Tätigkeit setzt, wurden recht hohe Werte registriert

In ähnlicher Weise ging SAUER vor. Statt einer Schlinge legte er einen Stahlstab auf die unteren Molaren, an dem er unter dem Kinn ein Gewicht anbrachte.

Bei einer von ECKERMANN angegebenen Methode wird die Kraft, die notwendig ist, um die geschlossenen Zahnreihen zu öffnen, berechnet. Auch er arbeitete wie BORELLI, SAUER und ROSENTHAL mit auswechselbaren Gewichten.

Unter den Autoren, die Kaukraftmessungen mit präziseren Methoden durchführten, sind vor allem BLACK und ARNONE zu nennen.

1681	BORELLI	Italien	250 kg
1870-			
91	SAUER	Deutschland	100 kg
1894	DENNIS		50 kg
1895	BLACK	Amerika	100 kg

1896	ROSENTHAL	Deutschland	110 kg
1909	ARNONE	Italien	100 kg
1911	ECKERMAN	Schweden	50 kg
1911	FICK	Deutschland	400 kg
1911	GYSI	Schweiz	210 kg (errechnet nach physiologischen Muskelquerschn.)
1913	MORELLI	Ungarn	30 kg
1919	HABER	Deutschland	100 kg
1920	GONTHER	Deutschland	60 kg
1920	GYSI	Schweiz	60 kg
1921	SCHÖNWALD	Deutschland	45 kg
1922	KÖHLER-ETLING	Deutschland	70 kg
1922	WETZEL	Deutschland	250 kg
1923	THOLUK	Deutschland	76 kg
1925	HABER	Deutschland	350 kg
1929	SCHRÖDER	Deutschland	95 kg

Sie benutzten zwei durch eine Feder auseinandergehaltene Platten, die sie zwischen die Zahnreihen plazierten. Beim Schließen des Mundes war in der Annäherung der Platten ein Maß für die Größe der geäußerten Kraft gegeben. Auch den Gnathodynamometer DIETZES und HABERS liegt das Federprinzip zugrunde.

Ein entscheidender Unterschied beider Verfahren dürfte aber nach DIEDRICH darin zu sehen sein, daß beim Gnathodynamometer DIETZES die Versuchsperson auf eine Hartgummiplatte beißen muß, während bei HABERS Gerät eine Metallkugel den Zahn berührt. Aus den Äußerungen der Untersuchten geht hervor, daß das Kauen auf Metall Unbehagen bereitet und die Befürchtung, der Zahn könne Schaden erleiden, kräftiges Zubeißen hemmt.

Bei der von SCHWANDER hergestellten und von LICKTEIG verbesserten Vorrichtung wird der individuell erzeugte "Kaudruck" mittels eines Ölstempels auf ein Manometer übertragen. KÖHLER, ETLING und SCHÖNWALD bedienen sich anderer Verfahren. Sie werteten in Umkehrung der BRINELL'schen Kugeldruckprobe die Tiefe des Eindruckes aus, den eine Stahlkugel unter Kaukraft in einem Zinnplättchen bekannter Härte

verursacht. Zu vergleichender Orientierung sind die Meßergebnisse der wesentlichen bisher erwähnten Erhebungen zusammen mit rein rechnerisch bestimmten "Kaudruckkräften" chronologisch geordnet, graphisch dargestellt.

Daß sie stark voneinander abweichen, erklärt sich naturgemäß aus der unterschiedlichen Meßmethodik, den uneinheitlichen Voraussetzungen und verschiedenartigen Geräten. Ein Teil der Durchschnittswerte stützt sich überdies nur auf ein relativ kleines Untersuchungsgut und dürfte durch Einbeziehung sogenannter Spitzenwerte verschoben sein. Will man sie dennoch sachlich vergleichend auswerten, so wird das erschwert, wenn nicht unmöglich gemacht, durch die Tatsache, daß die meisten Autoren, wie ihren Kommentaren zu entnehmen ist, recht unklare Vorstellung der in Frage stehenden physikalischen Grundbegriffe aufkommen lassen. Sie wollen Kaudruck gemessen haben, gebrauchen aber dafür ebenso häufig gleichsinnig die Ausdrücke Kaufkraft oder gar Kaudruckkraft und tun dies unwidersprochen so suggestiv, daß diese Formulierungen schließlich auch als Synonyma im Fachsprachgebrauch zu gängiger Münze wurden. Wenn nun in den weiteren Ausführungen der Versuch unternommen werden soll, einen Beitrag zur Erfassung des Phänomens der Kaukraft zu geben, so ist es unerläßlich, klare Definitionen und Abgrenzungen voranzustellen.

Abgrenzung und Bestimmung der Begriffe "Kaukraft" und Kaudruck"

Physikalisch wird unter "Kraft" eine Energieäußerung verstanden, die durch Größe und Richtung gekennzeichnet ist. Gemessen wird sie für technische Zwecke in kg. Man erkennt ihr Walten daran, daß sie Ursache einer Bewegungsänderung bzw. Deformation in Richtung ihres Wirkens ist.

Verkürzt sich ein Muskel des mandibulo-maxillären Apparates, so entsteht Kraft, die mit Bezug auf die von ihr ermöglichte spezielle Arbeit "Kaukraft" genannt wird. Die Richtung,

in der sie sich äußert, ist praktisch identisch mit der gradlinigen Verbindung von Ursprung und Ansatz der sie erzeugenden Muskelfaser bzw. deren Gesamtheit (Muskelachse). Entspringt sie mehreren Muskeln verschiedener Insertionen, so wirkt sie als summierte "Kau-Kraft" in resultierender Richtung.

"Druck", eine skalare Einheit, ist allein durch Größe ausgezeichnet. Seine Existenz kann nur an einer Wirkfläche erkannt werden. Die Höhe des Druckes wird meist in kg gemessen, wobei ein kg pro qcm Flächeneinheit als technische Atmosphäre, abgekürzt at, definiert ist. (Die physikalische Maßeinheit, atm, entspricht bekanntlich dem Gewicht einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe = 1,033 kg). Kraft pro Flächeneinheit = Druck ist die verbindende Beziehung zwischen beiden Begriffen.

Auch dann, wenn man an Stelle des Ausdrucks Kaudruck Kaukraft setzt, sind die Ergebnisse nicht eindeutig bewertbar. Um aus ihnen sinnvolle Schlüsse zu ziehen, bedarf es weiterer konkreter Aussagen über die gemessenen Kraftäusserungen. THOLUCK hat aus den gelenkbedingten Bewegungsmöglichkeiten des Unterkiefers die vertikalen und horizontalen als wesentliche hervorgehoben. Die "Kraftarten", die sie veranlassen, nennt er Hack- und Quetsch-, bzw. Gleit- oder Mahlkräfte. Weniger auf die spezielle Aufgabe bezogen, wollen wir sie mit Kieferschluß- und Verschiebekraft bezeichnen. Die Kieferschlußkraft, hauptsächlich erzeugt von den 3 großen Kaumuskelpaaren: m.temp., m.mass. und m.pteryg., muß entsprechend der Mächtigkeit ihrer Erzeuger beträchtlich größer sein als die in der Kauebene wirkende Verschiebekraft, ohne daß damit etwas über den durch sie veranlaßten Kaeffekt selbst ausgesagt ist. (Es sei in diesem Zusammenhang auf den Hanfschnurversuch von GYSI hingewiesen, an dem er zeigte, daß man mit einem Messer eine Hanfschnur mit 7 kg senkrecht einwirkender Kraft trennen kann, während bei gleitender Bewegung von 7 mm nur 2 kg erforderlich sind).

Es hat sich, wie aus dem Schrifttum hervorgeht, eingebürgert, die potentielle Energie der Kaumuskulatur insgesamt als absolute Kaukraft zu bezeichnen. Sie wurde von FICK mit 400 kg, von GYSI mit 210 kg Größe errechnet. Dazu benutzten beide Autoren die meßbaren Querschnitte der großen Kaumuskulatur, deren Flächeninhalt sie mit einer aus physiologischen Untersuchungen erkannten Kraft zwischen 5 und 12 kg pro cm² Muskelfaser multiplizierten.

Mit technischen Mitteln ist es bisher nicht möglich gewesen, die absolute Kaukraft in vita direkt zu messen. Die jeweils für funktionelle Aufgaben benötigte und wirklich geäußerte Kraft stellt nur einen kleinen Ausschnitt aus der gesamten Kraftreserve dar, man könnte sie sinngemäß als relativ bezeichnen.

Ihr Größenmaß wird von der Sensibilität der Wurzelhäute der betroffenen Zähne reflektorisch und vom Sinneseindruck bewußt gesteuert.

Versucht man letztere meßtechnisch zwischen den Zahnreihen zu erfassen, so dürfte es mithin zweckmäßig sein, dazu bis-senähnliche, dem Tastgefühl nicht allzu "kaufremde" Meßgeräte so geringer Größe zu benutzen, daß damit die Sensibilitätssteuerung nur eines antagonistischen Wurzelhauptpaares angesprochen wird."

Uhlig stellte auch eigene Messungen an mit einem elektrischen Kaukraftmeßgerät (58): "Untersuchungen erstreckten sich zunächst auf insgesamt etwa 1000 Menschen männlichen und weiblichen Geschlechts mit natürlicher Bezahnung, gruppiert in 5 Altersklassen.

Gruppe I	umfaßte das 5. - 15. Lj.
Gruppe II	umfaßte das 15. - 20. Lj.
Gruppe III	umfaßte das 20. - 30. Lj.
Gruppe IV	umfaßte das 30. - 50. Lj.
Gruppe V	umfaßte das 50. Lj. und darüber

Von jeder Versuchsperson wurden Kraftäußerungen bis zur Sensibilitätsgrenze der Wurzelhäute korrespondierender Antagonistenpaare abgefordert und gemessen, die erhaltenen Werte in Altersgruppenlisten zusammengestellt

Aus den zwischen jedem Antagonistenzahnpaar gemessenen Kraftgrößen wurde sodann das arithmetische Mittel errechnet und in Tab. 2 untergebracht.

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV
Antagonistenzahnpaar	Durchschnittswerte in kg	Durchschnittswerte in kg	Durchschnittswerte in kg	Durchschnittswerte in kg
1/1	9,73 kg	11,41 kg	9,66 kg	9,75 kg
2/2	10,16 kg	11,71 kg	9,06 kg	10,16 kg
3/3	12,76 kg	16,03 kg	15,20 kg	14,18 kg
4/4	16,50 kg	19,98 kg	18,10 kg	16,97 kg
5/5	18,39 kg	21,56 kg	19,39 kg	17,43 kg
6/6	21,51 kg	23,65 kg	21,32 kg	20,70 kg
7/7	22,50 kg	25,36 kg	21,7 kg	22,02 kg
8/8	—	22,52 kg	21,91 kg	20,50 kg

.... Kritische Betrachtung der Ergebnisse

Unter Berücksichtigung des in den Vorbemerkungen Ausgeführten kann es sich bei den beschriebenen Messungen nur um die Erfassung eines bestimmten Ausschnittes relativer Kaukraftäusserungen handeln.

Wir registrierten sie in zahnbezogenen Einzelwerten, die von den Incisiven bis zu den 2. Molaren (die Weisheitszähne können selten zu Messungen herangezogen werden) stark ansteigen. Ehe wir sie genauer ansprechen und deuten, müssen ihre Abhängigkeiten aufgezeigt werden.

Beeinflussend resp. bestimmend für sie sind:

1. Hebelgesetzte
2. die Änderung der Schließmomente bei verschieden großer Mundöffnung
3. die unterschiedliche Größe der betroffenen Wurzelhautanteile
4. Form und Lage der Kauflächen

Zu 1.: Infolge der Anordnung der großen Kaumuskulatur am knöchernen Kieferapparat liegen Meßkopf oder Bissen im Backenzahnbereich quer zur Richtung erzeugter Schlußkräfte, während sie im Bereich der Frontzähne einer nach den Hebelgesetzen unteretzten Krafteinwirkung ausgeliefert sind. Diesem durch die anatomische Konstruktion bedingten unterschiedlichen Effekt wird dennoch optimale Wirkung verschafft durch Arbeitsteilung, Zweckform und Verankerung der Zähne. Die einwurzeligen Incisiven und Canini sind dank der geringen Ausdehnung ihrer Schneideflächen (Druck!), ihrer meißelförmigen Gestalt sowie ihrer antagonistischen Bißbeziehung (Scherenbiß) auch mit kleinem "Kraftantrieb" befähigt, den ihnen gestellten Spezialaufgaben gerecht zu werden. Die Molaren entsprechen den ihnen mit großen Kauflächen, die räumlich so gruppiert sind, daß die mächtige Kieferschlußkraft praktisch senkrecht auf sie einwirken kann. Die dafür erforderliche standfeste Verankerung gewährleisten mehrere Wurzeln, die sinnvoll zu den Resultierenden der wesentlichen Krafrichtungen eingestellt sind.

Zu 2.: Mit zunehmender Mundöffnung werden die Kraftarme (Lote aus den Drehpunkten auf die Krafrichtungen) durch Vorgehen des Gelenkkopfes kleiner, damit ist aber zwangsläufig eine Reduktion der Krafteinwirkung verbunden. Es kann erkannt werden, daß die wirksame Kraft bei nahezu geschlossener Zahnreihe mehr als doppelt so groß ist als bei weit geöffneter."

1957 beschäftigte sich SCHREIBER unter dem Titel: "Ein neues Gerät zur Messung und Registrierung von Kaufkräften" mit diesem Thema (45): "... Wie alle Messungen sind auch Kaudruckmessungen, oder richtiger ausgedrückt, Messungen der zwischen den Zahnreihen möglichen Kaukräfte von der Genauigkeit und der Empfindlichkeit der Meßgeräte abhängig. So wurden nach längerer Zeit auch erst mit verbesserten elektrischen Meßgeräten wieder Kaudruckmessungen aufgenommen. Bereits 1948 hat HOWELL ein derartiges Gerät beschrieben. Besonders eingehend hat sich dann UHLIG 1952 mit diesem Problem befaßt und auch ein neuartiges Gerät bekanntgegeben. Besonders wichtig waren dabei seine Klarstellungen über die physikalischen Begriffe

Druck und Kraft.

..... Die Belastung von unteren Frontzähnen:

Man sieht deutlich, wie nach einem gewissen Abtasten oder Prüfen der Nachgiebigkeit, also wie hart gleichsam der "Bissen" ist, sich ein Mittelwert von ca. 12 kg einstellt, ferner die Belastungen von einem Eckzahn aus demselben Gebiß, welcher infolge einer Stellungsanomalie keinen Schlußbiß mit den Antagonisten hat. Interessant ist, wie sich die Kurvenzacken auf ca. 15 kg erhöhen, weil der Zahn bei der ungewohnten Belastung zunächst etwas schmerzte.

Dann folgt ein vor Jahresfrist nach Pulpitis totalis wurzelbehandelter linker unterer Fünfer. Die Röntgenaufnahme ist o.B. Die Belastungskurven zeigen sehr hohe und gleichmäßige Werte von durchschnittlich 24 kg und der Zahn wird auch klinisch nicht als schwächer empfunden. Hier noch die Kurven von einem einzelstehenden linken unteren Siebener. Der Zahn ist vital, zeigt aber einen leichten horizontalen Knochenschwund, ohne jedoch irgendwelche Taschen zu haben oder gelockert zu sein. Er wird klinisch etwas schwächer empfunden. Die Kurven zeigen auch etwas ungleichmäßigere Werte. Nach anfänglicher Vorsicht tastet sich der Patient auf relativ hohe Werte vor (ca. 18 kg), die aber deutlich unter den Werten des Fünfers liegen. Allein schon aus den Messungen dieser beiden Zähne erkennt man den Wert derartiger Untersuchungen für die Praxis, denn es geht in diesem Falle um die Entscheidung, ob hier noch eine Brücke gemacht und verantwortet werden kann. Es soll jedoch an anderer Stelle über derartige Untersuchungen Genaueres berichtet werden.

Dann eine Belastungskurve, welche mitten auf einer Schwebelücke von rechts unten 5 auf 7 abgenommen wurde. Obwohl beide Zähne wurzeltot sind und 7 leicht beherdet ist, wird klinisch keinerlei Schwächegefühl angegeben. Die Kurven zeigen relativ gleichmäßige und hohe Werte von durchschnittlich 28 kg, wobei besonders daraufhin gewiesen werden soll, daß die angegebenen Zahlenwerte nicht so sehr als Wertangaben betrachtet werden dürfen. Erst die aufgezeichneten Kurven der gesamten Zahnreihe ergeben einen Überblick über die wirkliche Leistung,

und aus dem Vergleich der Einzelmessungen erkennt man dann die evtl. Schwachpunkte, wie in unserem Fall, z.B. der Zahn links unten 7, was dann für die Praxis ausgewertet werden kann. Als vorläufige Mitteilung sollen noch kurz sogenannte Ermüdungskurven beschrieben werden: Sie entstehen dadurch, daß man die Versuchsperson auffordert, zusammenzubeißen und die Kaukraft solange als möglich aufrechtzuerhalten. An den Registrierinstrumenten sieht man sogleich ein Vibrieren oder Zittern, was man an den ausgezackten, aber breiten Spitzen dieser Kurven erkennt. Dann muß plötzlich nachgelassen werden, weil sowohl die Wurzelhaut als auch die Muskelsätze an der Schädelbasis zu schmerzen beginnen. Ein besonders intensiver Schmerz tritt in der Wurzelhaut auf, wenn die Entspannung einsetzt, wahrscheinlich dadurch, daß das aus den Gefäßschlingen verdrängte Blut plötzlich zurückströmt. Interessant ist, daß nach kurzer Zeit (ca. 2 Sek.) sogar noch etwas gesteigert, eingesetzt werden kann. Man sieht daraus, daß die Erholungszeit sowohl für die Wurzelhaut als auch für die Kaumuskulatur sehr kurz ist. Zugleich scheint dies eine Bestätigung dafür, daß das ganze Kauorgan trotz der scheinbar überdimensionierten Muskulatur nur für diese kurze rhythmische Kraftentfaltung gebaut ist."

ANDERSON entwickelte 1956 einen Druckmeßapparat, der mit einem Oscilloskop gekuppelt ist (1). Die Ausmaße wurden so klein gehalten, daß der Apparat in einer Molarenkrone Platz findet. Das Oscilloskop zeichnet in einer Kurve die verschiedenen Kräfte auf, die beim Kauen verschiedener Nahrungsmittel in Aktion treten. Aus einer zweiten nebenher laufenden Kurve kann die zwischen den einzelnen Kaudrücken liegende Zeit, sowie die Dauer der einzelnen Kaudrücke selbst abgelesen werden. Das getestete Material bestand aus Bisquit, Möhren und Fleisch. Es standen vier Versuchspersonen zur Verfügung. Da die Nutzfläche des Druckmeßapparates erheblich kleiner ist als eine Molarenoberfläche, wurde das Ergebnis jeweils auf mm² umgerechnet. Anhand der Kurven des Oscilloskops ist zu erkennen, daß die aufgewendeten Kräfte anfänglich geringer waren,

gegen Ende des Kauaktes ansteigen. Dauer einer Kausequenz etwa 1 Sek., Kaudruck 2-7 kp/mm².

ROHRBACH und EICHNER (44) stellten 1958 Widerstandsmeßdosen von Molarengröße vor, ohne daß die Okklusion und Artikulation behindert wurde: "... Die Autoren dieser Veröffentlichung fanden sich zu gemeinsamer Arbeit, als der eine von ihnen Kenntnis von modernen Meßmethoden der Technik erhalten hatte. Ziel der Zusammenarbeit sollte sein, Kaukraftmessungen mit Geräten kleinster Abmessungen durchzuführen, die weder Okklusion und Artikulation der natürlichen oder künstlichen Zähne, noch die Bewegungen der Zunge, Wange oder Lippe während der Kaufunktion beeinträchtigten. Außerdem war weniger an die Registrierung max. Kaukräfte gedacht, sondern es sollte vielmehr der zeitliche Ablauf des Kauaktes und der bei der Zerkleinerung verschiedener Nahrungsstoffe wirkenden Kräfte aufgezeichnet werden.

In gemeinsamer Arbeit wurden (vom Herbst 1955 an) die technischen Möglichkeiten (CHR. ROHRBACH) gegen die zahnärztlich-klinischen Möglichkeiten (K. EICHNER) abgewogen. Die vorliegende Veröffentlichung berichtet über das Meßprinzip und die ersten Ergebnisse, die bis heute durch SPERBER auf Messungen an 10 Patienten erweitert wurden ...

..... Vorläufige Mitteilungen über die Meßergebnisse

Die bisher erfolgten Kaukraft-Messungen wurden mit verschiedenen Nahrungen, Zwieback (1 g), Simons Waerlandbrot (5 g), Dauerwurst (6 g), Kokosnuß-Stücken (3 Stck.), Haselnüssen (3 Stück), jeweils an einem Patienten durchgeführt.

An zwei typischen Aufzeichnungen (Abb. 10 A und B) sollen hier die Untersuchungen beispielhaft näher erörtert werden, um zu zeigen, welche Fülle von Ergebnissen man ihnen entnehmen kann, im Gegensatz zur Messung der maximalen Kaukraft allein

Die untere Kurve zeigt die Kraft auf -6 in einer totalen Unterkieferprothese mit dem Gegenbiß einer totalen Oberkieferprothese beim Kauen von Waerlandbrot, die mittlere Kurve die gleichzeitig gemessene Kraft auf 6-. Wenn die Kurve horizontal

verläuft, ist die entsprechende Dose unbelastet. Die Ausschläge der Kurve nach oben zeigen ein getreues Abbild der Kraft auf die Meßdose an. Die gleiche Kraft würde auf den künstlichen Zahn einwirken, den die Meßdose ersetzt. - Die obere Kurve stellt eine Sinusschwingung konstanter Frequenz dar, die zur genauen Zeitmarkierung mitgeschrieben wurde. Wie aus dem eingetragenen Zeitmaßstab zu sehen ist, entspricht der Abstand von Spitze zu Spitze einer Zeit von 0,1 sec. Um besondere Zeitpunkte zu markieren (z.B. den Augenblick des Schluckens) wurde diese Schwingung kurzzeitig unterbrochen (siehe 10 B). Wie die seitlich eingezeichneten Kraftmaßstäbe zeigen, gilt für jede der beiden Kurven ein anderer Kraftmaßstab; die absoluten Höhen der Ausschläge beider Kurvenzüge können also nicht unmittelbar, sondern erst unter Zuhilfenahme der zugehörigen Kraftmaßstäbe miteinander verglichen werden. Die Maßstäbe wurden nach den Erfordernissen des jeweiligen Versuches gewählt.

Aus den Kurven lassen sich nun viele Tatsachen entnehmen. Zunächst sei die Abb. 10 A erläutert. Zur Zeit $t = 0$ ist der Bissen Waerlandbrot in den Mund eingeführt, zur Zeit $t = a$ erfolgt die erste Kaubelastung der linken Meßdose und es setzt eine regelmäßige Kaubewegung auf dieser Seite ein. Die antagonistischen Zähne 6 der rechten Seite werden während dieser Zeitspanne noch nicht belastet, sondern erst zur Zeit $t = b$ tritt die erste Belastung der rechten Dose auf. Im Verlaufe des weiteren Kaugorganges wechseln die Kauseiten und die Scheitelwerte der Kaukräfte, bis zur Zeit $t = e$ beide Meßdosen einem besonders hohen Wert zustreben. Dies ist der Augenblick des Schluckens der zerkleinerten Nahrung.

Die Abb. 10 B zeigt den Kraftverlauf beim gleichen Patienten mit den gleichen Meßdosen, aber jetzt beim Kauen von Zwieback. Wenn auch die Kurven in diesem Bilde im Vergleich zu denen in Abb. 10 A einen anderen Charakter haben, ist doch zu entnehmen, daß die durchschnittlichen Scheitelwerte der Kaukräfte in etwa gleicher Höhe auftreten. Bemerkenswert ist der hohe Scheitelwert von 12,7 Kp auf der rechten Dose zur Zeit $t = 7,9$ sec., der offenbar infolge eines festen Bestandteiles in der Nahrung aufgetreten ist. Auch der Kraftverlauf beim

Schlucken sieht im Vergleich zu Abb 10 A anders aus. (Markierung durch Unterbrechung der Sinusschwingung). Statt des gleichmäßigen Verlaufes in Abb. 10 A mit einem großen Scheitelwert verläuft hier der Schluckvorgang mit kleinen und unregelmäßigen Kräften und geringen Scheitelwerten. Deutlich zu sehen ist auch, daß in Abb. 10 B die Anzahl der - offenbar zur Zerkleinerung nötigen - Kaubewegungen größer ist.

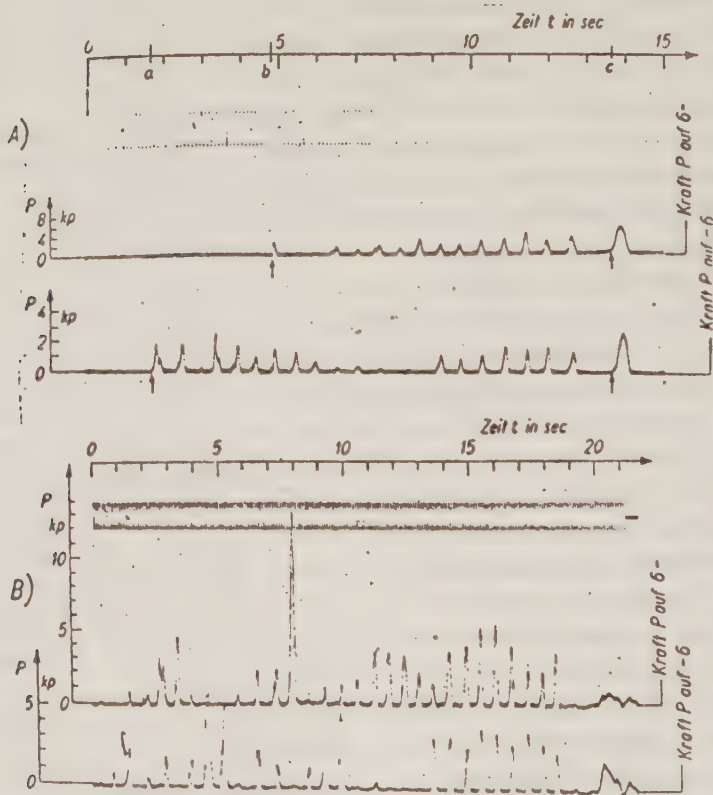


Abb. 10 A) Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufes der Kaukraft bei einem Totalprothesenträger mit zwei Meßdosen bei der Zerkleinerung von Simons Waerlandbrot.
Abb. 10 B) Aufzeichnung beim gleichen Patienten bei der Zerkleinerung von Zwieback.

Neben diesen mehr allgemeinen Erkenntnissen kann man nun noch eine Reihe von Einzelgrößen aus den Aufzeichnungen entnehmen, die zunächst definiert werden sollen. In Abb. 11 ist hierzu ein Ausschnitt aus einem angenommenen Kauvorgang aufgezeichnet. Vom Zeitpunkt $t = a$ an wird die Nahrung durch Wange und Zunge auf die Kaufläche zwischen die Antagonisten geschoben. Während dieser Zeit ist die Kaukraft gleich Null. Diese Zeit definieren wir als Zwischenzeit Z . Am Ende der Zwischenzeit beginnt die Kaukraft infolge Annäherung der Antagonisten bei gleichzeitigem Zusammenpressen der dazwischenliegenden Nahrung bis zum Scheitelwert S der Kaukraft anzusteigen. In dieser Zeit - der Belastungszeit B - braucht der Kraftanstieg nicht monoton zu erfolgen, sondern kann, z.B. durch Zerbröckeln einzelner Nahrungsbestandteile, einen unregelmäßigen Verlauf erhalten. Nach Überschreiten des Scheitelwertes fällt die Kaukraft ab, entweder infolge des Zerspringens der Nahrung (z.B. bei einer Haselnuß) oder Entfernung der Antagonisten voneinander. Dabei kann die Kaukraft durch die Haftung der Nahrungsmittel an den Kauflächen sogar negativ werden. Den Scheitelwert dieser Haftkraft bezeichnen wir mit S . Den Zeitabschnitt vom Erreichen des Scheitelwertes der Kaukraft S bis zur völligen Entlastung der Kauflächen bei $t = b$ bezeichnen wir als Restitutionszeit R . Belastungszeit B und Restitutionszeit R zusammen nennen wir Lastzeit. Der gesamte Zeitabschnitt zwischen $t = a$ und $t = b$ wird als Periodendauer P bezeichnet; den Kehrwert $\frac{1}{P}$ nennen wir Kaufrequenz. Diese Kaufrequenz stimmt mit der Bewegungsfrequenz des Unterkiefers nur dann überein, wenn der betrachtete Zahn eine Belastung erhält.

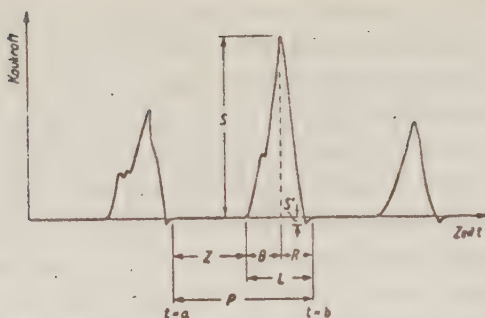


Abb. 11. Zur Definition der Kenngrößen beim Kauen

Die jetzt definierten Größen, die unseres Erachtens den Kauvorgang im wesentlichen kennzeichnen, sollen nun zur Erläuterung aus dem Kraftverlauf, der von der Kaukraft-Meßdose im Zahn -6 der totalen Unterkieferprothese aufgezeichnet ist, entnommen werden. Zahn -6 zeigt bei der Zerkleinerung von Waerlandbrot (Abb. 10 A) Scheitelwerte der Kaukraft S zwischen 0,2 Kp und 2,6 Kp mit einem Durchschnitt von 1,2 Kp. Die Scheitelwerte der Haftkraft sind stets unmeßbar klein. (Bei allen anderen Patienten und Nahrungsmitteln lagen sie unter 0,2 Kp). Die Kauperiodendauer liegt im allgemeinen in den Grenzen von 0,4 bis 0,7 sec., die Frequenz also in den Grenzen 2,5 bis 1,4 sec. Die Zwischenzeiten Z liegen bei 0,3 sec., die Lastzeiten L sind kleiner und betragen etwa 0,25 sec. Das Verhältnis von Zwischenzeit Z und Lastzeit L beträgt also 1,2. Die Belastungszeiten B liegen im allgemeinen in den Größenordnungen der Restitutionszeiten R , sie betragen 0,1 bis 0,2 sec. Auffällig ist, daß im Anfang des Kauvorganges vermutlich infolge von Zerbröckeln der Nahrung, die Restitutionszeiten R die Belastungszeiten B mehrfach übertreffen. - Eine Ausnahme bildet (in Abb. 10 A) der Kraftverlauf während der letzten Periodendauer, weil der reflektorische Mundschluß und die dabei erfolgende Zahnberührung beim Schlucken einen grundsätzlich anderen Vorgang als das Zerkleinern der Nahrung darstellen. Der Scheitelwert S ist erheblich höher als im Durchschnitt, die Zwischenzeit ist auf 0,8 sec. gestiegen und auch die Last-

zeit L verlängert; Z zu L beträgt 1,33. Dieses Verhältnis hat sich also im diskutierten Fall beim Schlucken im Vergleich zu den einzelnen Kauperioden nicht wesentlich geändert. Das Verhältnis B zu R ist auch hier konstant geblieben. Auf die Deutung dieser Feststellung soll jedoch noch nicht eingegangen werden.

Ähnliche Messungen wie in Abb. 10 A und B dargestellt, wurden an weiteren 8 Patienten durchgeführt. Als Teilergebnis sei nur mitgeteilt, daß die Scheitelwerte der Kaukraft im allgemeinen nicht über 5 Kp lagen. Die größten auftretenden Scheitelwerte der Kaukraft betrugen 14,5 Kp, stellten aber einmalige Stellenwerte während der Kaufolge dar. Das galt sowohl für Prothesenträger als auch für Patienten mit feststitzendem Zahnersatz."

Auch KRAFT beschäftigte sich mit Kaukraftmessungen und veröffentlichte 1962 seine Ergebnisse (29): "... In jüngster Zeit haben UHLIG, SCHREIBER, VAN THIEL, EICHNER, STAEGEMANN, KÜRBER und VOSS Kaukraftuntersuchungen mit modernen, z.T. elektronischen Meßgeräten vorgenommen. Vergleicht man die von den verschiedenen Autoren vor 1950 mitgeteilten Durchschnittswerte, so liegen diese etwa in einem Bereich von 30 bis 100 Kp, von wenigen abgesehen, die mit 250, ja 350 Kp angegeben werden. Die sehr voneinander abweichenden Befunde sind naturgemäß weitgehend methodenspezifisch. Es kommen darin nicht nur die unterschiedlich wirksamen Meßgeräte, sondern z. T. sogar methodische Fehler zum Ausdruck, in dem in einzelnen Fällen ausser der Kaumuskulatur auch die beteiligten Rumpf- und Nackenmuskeln miterfaßt wurden. Zudem gründen sich einige Durchschnittszahlen auf relativ kleine Untersuchungsreihen, so daß das arithmetische Mittel durch extrem streuende Einzelwerte verschoben sein dürfte. Nach eigenen Untersuchungen, deren Ergebnisse in die seit nahezu 10 Jahren laufenden von UHLIG veranlaßten Erhebungen eingefügt wurden, läßt sich folgendes aussagen: registriert mit einem elektronischen Kaukraftmesser zwischen je einem Antagonisten-

paar ergaben sich durchschnittlich:

a) im gesunden Gebiss:

Incisivi je 10 Kp, Canini je 15 Kp, Prämolares je 18 Kp, Molares je 21 Kp

b) in Gebissen mit eingegliedertem Brückenzahn-Ersatz erhöhen sich die Kp-Werte jeweils um etwa $1/5$ gegenüber dem gesunden Gebiß

c) Zwischen schleimhaut-gelagertem, totalen Zahnersatz reduzieren sich die Kp-Werte auf jeweils $1/10$ der Kraftproduktion des gesunden Gebisses.

d) bei implantatverankertem, totalen Zahnersatz fanden wir eine 3-fache Steigerung der Kp-Werte gegenüber dem schleimhautgelagerten Zahnersatz.

Es zeigte sich, daß es entsprechend dem Tast- und Ordnungsgefühl der Mundhöhle meßtechnisch von Bedeutung ist, ob der Meßkopf metallisch hart oder mittels Kautschukauflage bisßenähnlich weich ist. Denn die Zähne sind nicht schutzlos der vollen Kraftentfaltung der Kaumuskulatur ausgesetzt, die sich nach FICK als potentielle Kaukraft bei einem Muskelquerschnitt von 40 cm^2 mit 400 Kp errechnet, sondern die Kraftproduktion wird von der Sensibilität der Wurzelhaut der betroffenen Zähne reflektorisch gesteuert und dosiert. So erklärt sich auch, warum die Kräfte, die zwischen den einzelnen Antagonisten meßbar sind, im Seitenzahnbereich größer werden. Denn im gleichen Verhältnis wie die Belastbarkeit nachweislich ansteigt, nimmt im Gebiet der Prämolaren und Molaren die Wurzeloberfläche zu, so daß der Druck pro Flächeneinheit bei annähernd axialer Belastung in etwa immer der gleiche ist. Benutzt man die kürzlich von MÖLLER in der Schweiz experimentell ermittelten Wurzeloberflächen als Berechnungsgrundlage, dann erträgt das Parodontium eines oberen großen Schneidezahnes bei einer Fläche von 3 cm^2 und 10 Kp Kraft 3,3 atü Druck ohne Schmerzreaktion. Der gleiche Druck stellt ebenfalls für alle übrigen Zähne die Toleranzgrenze dar; z.B. steht ein Molar, dessen Wurzeloberfläche von 6 cm^2 rund 20 Kp schmerzfrei erträgt unter dem gleichen Druck von 3,3 atü.

Unter diesem Blickwinkel betrachtet überrascht es dann auch keineswegs, daß in Gebissen mit eingegliedertem Brücken-Zahnersatz höhere Kaukraftwerte gemessen werden. Die einfache Erklärung liegt darin, daß durch den Brückenverband eine größere Wurzelhautfläche im Sinne einer Kräfteverteilung angesprochen wird und dadurch die Belastbarkeit zunimmt. Damit erweisen sich die zum Teil auch heute noch vertretenen Meinungen, nach denen die maximale Beanspruchung einer Brücke entscheidend von deren Spannweite abhängt, die nicht überschritten werden dürfte, als nicht zutreffend. Ebenso entbehrt danach die Arbeitsanweisung, die für längere Brücken schmale, facettenförmige Brückenkörper vorschreibt, jeglicher physiologischer und physikalischer Grundlage. Zwar wird aus einem Zerquetschen der Nahrung zwischen Mahlzähnen voller Größe durch reduzierte Brückenkörperbreite mehr ein messerähnliches Schneiden, indem der Druck an den wirkenden Flächen ansteigt. Aber nicht nach ingenieurtechnischen Gesichtspunkten läßt sich der Brückenzahnersatz beurteilen, sondern die betroffenen Wurzelhäute bestimmen das Maß der einsetzbaren Kaumuskelkraft. Zudem können die fazettenförmigen Brückenglieder bei sich ändernder Schlußbißhaltung des Unterkiefers zum Gesichtsschädel unbeabsichtigt zu wirksamen schiefen Ebenen nach Art kieferorthopädischer Apparate werden, die die betroffenen Brückenpfeiler aus dem Zahnbogen bewegen und somit schweren Schaden stiften.

So ließ sich auch experimentell der alte Erfahrungsgrundsatz beweisen, daß sich der Organismus unter physiologischen Bedingungen selbst vor Schäden schützt. Allerdings kann es trotzdem gelegentlich zu gewissen Überforderungen kommen, wie z.B. bei der sog. Hasenschrotfraktur. Hier entwickeln plötzlich relativ geringe Kräfte von etwa 15 kp. wenn unverhofft beim Kauen ein Prämolarenhöcker auf ein Speisekorn trifft, einen außerordentlich großen Druck. Verkleinert sich doch die Wirkfläche etwa auf 1 mm², so daß für einen kurzen Augenblick - in dem gewissermaßen die sensible Kontrolle überrascht wird - ein Druck von 1500 atü entstehen kann, der natürlich ausreicht, den Zahn zu zersprengen."

Wichtig für eine Aussage über die Wirkung von Kräften auf die Zähne ist natürlich die Fläche, die für den Kraftangriff zur Verfügung steht. Sie wurde u.a. von EICHNER 1954 gemessen (8). Hier heißt es auf Seite 1422 u.a.: "Jedoch sind sowohl die Okklusionsflächen (10 - 46 mm², durchschnittlich 21,2 mm²) als auch die Artikulationsflächen (32 - 118 mm², durchschnittlich 59,8 mm²) der Kauseiten von totalen Prothesen wesentlich kleiner als bei jugendlichen, vollbezahnten, natürlichen Gebissen. (Okklusions-Fläche: 21 - 145 mm², durchschnittlich 81,3 mm², Artikulationsfläche: 49-194 mm², durchschnittlich 115,6 mm²)."

EICHNER hat auch 1963/64 maßgebliche Untersuchungen über Kauvorgänge und Kaukräfte durchgeführt (7): "Bereits mit der Formulierung des Themas "Messung der Kräfte bei Kauvorgängen" wollte ich herausstellen, daß nicht über die gemeinhin üblichen sogenannten "Kaukraftmessungen" gesprochen werden soll. Eine Begriffsbestimmung erscheint mir daher einleitend notwendig. Durch die Jahrzehnte hält sich der Begriff "Kaudruck", der durch "Kaukraft" ersetzt werden muß, weil es sich um "eine physikalische Energieäußerung handelt, die durch ihre Größe und Richtung definiert werden kann" (UHLIG). Aber selbst wenn wir den Begriff "Kaukraft" übernehmen, können wir die verschiedenen Angaben der sich mit diesem Fragenkomplex beschäftigten Autoren nicht ordnen. Die Angaben schwanken zwischen 400 kg (FICK) bis zu wenigen Kp. Auch die von UHLIG in seiner grundlegenden Arbeit "Über die Kaukraft" 1953 vorgeschlagene Begriffsbestimmung reicht nicht aus. UHLIG schlägt vor, die absolute Kaukraft, das ist die potentielle Energie der Kau-muskulatur, von der relativen Kaukraft, der meßbaren, wirklich geäußerten Kraft, zu trennen. Er bemerkt aber gleichzeitig, daß es sich bei den auf Messungen beruhenden Angaben in der Regel um einmalig aufgewendete Kieferschlußkräfte handelt, die ohne Kauvorgang erzielt worden sind. Am sinnvollsten erscheint mir daher eine Einteilung, die WUSTROW bereits vor ca. 40 Jahren vorschlug. Er unterteilte die

theoretisch mögliche Kraft,
praktisch mögliche Kraft,
physiologisch notwendige Kraft.

Selbstverständlich muß die praktisch mögliche Kraft geringer sein als die theoretisch mögliche, da die Sensibilität des Periodontiums oder des Zahnfleisches reflektorisch den theoretischen möglichen Kraftaufwand der Kaumuskulatur bremst. Hinzu kommt die Einspeichelung der Nahrung während der Zerkleinerung, so daß bei der Nahrungsaufnahme nur noch ein physiologisch notwendiger Kraftaufwand erfolgt.

Die theoretisch mögliche Kraft errechnet man aus den physiologischen Muskelquerschnitten. SCHUMACHER setzt bei vergleichenden Untersuchungen mit der tierischen Kaumuskulatur für die menschliche folgende Werte an:

M. masseter 29,0 kg, M. temporalis 36,0 kg

M. pterygoideus med. 18,0 kg, M. pterygoideus lt. 17,0 kg

Daraus ergibt sich eine einseitig mögliche Kraftentfaltung von 100 kg, die dann beiderseitig mit 200 kg anzusetzen ist. Bei Männern kann dieser Durchschnittswert um ca. 50 kg höher liegen als bei Frauen, der jüngere Mensch mit vollständiger Zahnreihe dürfte ebenfalls größere Muskelquerschnitte aufweisen, als sie SCHUMACHER bei seinen Untersuchungen an Leichen mit Lückengebissen feststellen konnte. FICK hat die theoretisch mögliche Kraft auf die gleiche Weise mit 400 kg ermittelt, während GYSI 210 kg angegeben hat. Von den Untersuchungen, die der praktisch möglichen Kraft galten, sind wohl die von HABER in den zwanziger Jahren durchgeführten am bekanntesten geworden. HABER benutzte den Gnathodynamometer. Dieser wurde so zwischen die Zahnreihen plziert, daß die zu messenden antagonistischen Zähne auf Metallkugeln trafen, die von Federn auseinander gehalten wurden. Bei Kaukraftanwendung wurden die Beißplatten einander genähert und direkt angezeigt. Die höchsten Werte betrugen immerhin 350 kg. - Solche Werte wurden mit modernen Meßgeräten niemals erzielt. UHLIG und KRAFT benutzten ein Beißelement, das auf dem Prinzip der Messung elektrischer Resonanz beruht. Sie fanden Maximalwerte zwischen antagonistischen Zahnpaaren von 9,06 kg bis 25,36 kg, je nach dem Alter des Probanden. - In dieser Grös-

senordnung liegen auch die von SCHREIBER angegebenen Werte, der mit einem stimmgabelähnlichen Beißelement die Widerstandsänderungen von Dehnungsmeßstreifen mißt.

Beide Methoden und auch verschiedene andere, z.B. in jüngster Zeit von K.H. KÜRBER angegebene, haben den Nachteil, daß die Zahnreihen nicht in Berührung kommen. Das Beißelement von UHLIG hat beispielsweise eine Höhe von 10 mm. Bereits 1921 hat jedoch SCHÖNWALD darauf hingewiesen, daß bei nahezu geschlossenen Zahnreihen mehr als doppelt so hohe Meßergebnisse erzielt werden als bei geöffnetem Mund.

Diese Meßmethoden, die der praktisch möglichen Kraft gelten, müssen daher als nur relativ verwertbar im Hinblick auf die Kaukraft angesehen werden. Sie geben einmalig aufgewendete Kräfte an, die z.B. interessant sind, wenn es sich um Vergleiche des möglichen Kraftaufwandes zwischen einer abgestützten und einer nicht abgestützten Prothese handelt. Trotz der durch das Beißelement verursachten Mundöffnung sind vergleichbare Meßergebnisse zu erzielen, die Aufschluß über die Wirkung der Abstützung geben. UHLIG schlägt vor, diese Kräfte nicht Kaukräfte, sondern Kieferschlußkräfte zu nennen. Während des Kauens von Nahrungsmitteln erzielte Meßergebnisse - die physiologisch notwendigen Kräfte - sind bisher nur in geringem Umfang bekannt geworden. Die Auswirkungen der Kaufunktion auf die natürlichen und künstlichen Zähne sind wegen des mit dem Zerkauen von Nahrungsmitteln verbundenen Kraftaufwandes interessant. Daher wird der Kaufunktion in der Regel größere Beachtung geschenkt als beispielsweise der Sprechfunktion. Auch die Bezeichnung "Gebiß", "Kauorgan" oder "Kauapparat" resultieren aus dieser Überbewertung, obgleich die Zeit des Tages, in der gesprochen wird, wahrscheinlich stets länger ist als die Zeit der Nahrungsaufnahme. Bisher wurde häufig, z.B. von BLACK, SCHRÖDER, BLUNTSCHLI und WINKLER, KANTOROWICZ, BECK, HOFMANN u.a., auf die physiologisch notwendige Kraft durch Zerspaltung von Nahrungsmitteln in Artikulatoren geschlossen. Natürliche oder künstliche Zähne wurden durch Gewichte bis zur Zerteilung des Testnahrungsmittels be-

lastet. Die angegebenen Werte liegen zum Teil überraschend hoch; HOFMANN gibt in jüngster Zeit folgende an:

gekochtes Fleisch 34 - 76 kg, Brotrinde 55 - 80 kg,
Apfel, Möhren u.a. 7,2 - 8,6 kg

je nach Art der verwendeten künstlichen Backenzähne. - BECK findet hingegen für verschiedene Brotsorten nur 1,2 - 5,0 kg.

Die Angaben über die Größe der allgemein sogenannten Kaukraft schwanken demnach außerordentlich. Das liegt sowohl daran, daß vorwiegend maximale Kieferschlußkräfte gemessen wurden, als auch an unzureichenden Meßmethoden. Diese ließen in der Regel weder die Okklusion noch eine Artikulation der Zähne zu.

Die Durchsicht der Literatur hat ergeben, daß Kaukraftmessungen während des ungestörten Kauvorganges erst in jüngster Zeit und bisher nur selten in geringem Umfang durchgeführt wurden. Im amerikanischen und englischen Schrifttum ließen sich einige Arbeiten finden, die tatsächlich beim Kauen von Nahrungsmitteln auftretende Kräfte gemessen und registriert haben. In den Jahren 1950 - 1953 haben verschiedene Amerikaner (MANLY, HOWELL, BRUDEVOLD, YURKSTAS und CURBY) erstmalig Kaukraftaufzeichnungen während vollständiger Kauvorgänge bei sechs Prothesenträgern durchgeführt. Sie verwendeten die gleiche, von Untersuchung zu Untersuchung verbesserte Meßapparatur, die auf dem Prinzip der Widerstandsänderung von Dehnungsmeßstreifen arbeitet. Über die Konstruktion der Meßelemente, die Meßapparatur und die Genauigkeit der Ergebnisse liegen keine verwertbaren Angaben vor. (So ist das leider häufig in der amerikanischen Literatur).....

..... Der Engländer ANDERSON besitzt ein Meßelement mit Dehnungsmeßstreifen, das in Gußfüllungen einzusetzen ist. Er berichtet von Messungen bei vier Patienten mit vollständigen, natürlichen Zahnreihen, ist sich jedoch unklar über die Richtigkeit seiner Ergebnisse. Die angegebenen Kaukräfte pro Zahn waren annähernd gleich groß und überraschend gering. Sie betrugen durchschnittlich ca. 3 kg; maximale Kräfte lagen nicht über 10 kg. - In Deutschland hat VAN THIEL Untersuchungen durchgeführt, bei denen er Dehnungsmeßstreifen auf der Zungenseite von herausnehmbarem Zahnersatz befestigte, und die Aufbiegung

der Prothese beim Kauen registrierte. Diese Methode kann als indirekte Kaukraftmessung bezeichnet werden. Es kann somit festgestellt werden, daß es eine interessante und lohnende Grundlagenforschung ist, die Kaukraft während vollständiger Kauvorgänge zu messen und registrieren

Statistische Auswertung

1391 Werte bilden die Grundlage für eine statistische Auswertung. Diese Beurteilungsmethode wurde herangezogen, um festzustellen, was dieses Probekollektiv von 18 Versuchspersonen mit 26 verschiedenen Zahnersatzformen über die Kaukraft der Gesamtheit aller Zahnersatzträger aussagt.

Die durchschnittliche Kaukraft von allen Probanden bei jeder Kaubewegung beträgt für

Zwieback 1,685 Kp, Vollkornbrot 2,268 Kp, Dauerwurst 1,709 Kp.

Bei der Aufteilung der Patienten in Gruppen konnte festgestellt werden, daß für die Zerkleinerung von Vollkornbrot im Vergleich zu Zwieback und Dauerwurst ebenfalls höhere Kaukräfte notwendig sind. Wegen der beträchtlichen interindividuellen Streuung der Kaukräfte ließen sich jedoch diese so deutlichen Unterschiede statistisch nicht sichern. - Mit Hilfe von intraindividuellen Differenzen zwischen je zwei der drei Testnahrungen konnte dagegen für die durchschnittliche Kaukraft festgestellt werden, daß Vollkornbrot sowohl gegenüber Zwieback als auch gegenüber Dauerwurst von allen 26 Versuchspersonen signifikant unterschiedlich mit höheren Kaukräften gekaut wird. - Die Prüfung der Patientengruppen mit Hilfe des Variabilitätskoeffizienten ergab, daß Patienten mit festsitzendem Zahnersatz höhere Kaukräfte aufwenden als Patienten mit herausnehmbarem Zahnersatz. Dabei war jedoch die Streuung in der Gruppe mit herausnehmbarem Zahnersatz geringer; diese Gruppe ist daher in sich homogener. Sowohl für die Maximalwerte als auch für die Summen der Kaukräfte konnten mit keiner Berechnungsmethode Signifikanzen ermittelt werden. Die interindividuellen und intraindividuellen Streuungen dieser Werte sind zu groß. - Mit 18,4 Kp lag die maximale Kaukraft, gemessen in einem Gebiß mit vollstän-

digen Zahnreihen beim Kauen von Vollkornbrot, weit über den sonst gemessenen Maximalwerten. Diese überstiegen 10 Kp nur selten, in der Regel liegen sie zwischen 2,0 und 4,0 Kp.

Klinische Auswertung

Zur klinischen Auswertung wurden alle vorhandenen Ergebnisse herangezogen. Die Zahl der beobachteten Kaubewegungen stimmte nur selten mit der Zahl der registrierten Kaubewegungen überein. Das war darauf zurückzuführen, daß nicht bei jeder Kaubewegung eine Kraft auf die Meßdose ausgeübt wurde. Die durchschnittliche Dauer der Kauvorgänge betrug ca. 27 Sek. Jedoch kauten Patienten mit vollständigen Zahnreihen oder kleinem Zahnersatz und Patienten mit totalen und subtotalen Prothesen schneller als Patienten mit umfangreichen Brücken oder partiellen Prothesen. Schluckbewegungen wurden ein-, zweimal während jedes Kauvorganges ausgeführt. Sie riefen bei fast allen Patienten Kraftanzeigen hervor, die im allgemeinen zwischen der maximalen und der durchschnittlichen Kaukraft lagen. Auch Haftkräfte zwischen 0,100 und 0,500 Kp, die auf die Klebkraft der eingespeichelten Nahrung zurückzuführen sind, konnten registriert werden, jedoch ausschließlich bei Patienten mit festsitzendem Zahnersatz geringen Umfanges. Die Kaukurven-Aufzeichnungen zeigen charakteristische Kurvenverläufe für Hack- und Mahlbewegungen, Orientierungsbewegungen vor dem ersten Bissen und Schluckbewegungen. Über die Wanderung des Bissens beim Zerkauen von der einen zur anderen Seite und vom Prämolaren- zum Molarenbereich konnten interessante Beobachtungen gemacht werden, wenn Patienten in ihrem Zahnersatz mehrere Kaukraftmessdosen eingebaut erhalten hatten. Einige Einzelversuche ergänzten die Prüfungen mit den drei Testnahrungen. Es ergab sich, daß Probanden bei schwierig zu zerkleinernden Nahrungsmitteln (grüner Salat, gebratenes Fleisch, magerer Speck, Kokosnußstücke und Haselnüsse) die Zahl der Kaubewegungen und die Kaukraft evtl. verdoppeln und zu der effektvolleren Mahlbewegung übergehen."

In der 1964 von EICHNER veröffentlichten Arbeit (9) heißt es: "In zwei früheren Arbeiten wurden Kaukraft-Meßdosen von Prämolaren- und Molarengröße beschrieben, die eine Messung der physiologisch notwendigen Kräfte bei ungestörten Kauvorgängen möglich machen. Es wurden über Untersuchungsergebnisse in klinischer Sicht und unter statistischer Auswertung bereits in den genannten Veröffentlichungen Angaben gemacht. Die durchschnittliche Kaukraft bei 26 Probanden mit verschiedenem Zahnersatz (Gußfüllungen, Kronen, Brücken, partielle und totale Prothesen), in den die Meßdosen eingebaut waren, beträgt bei jeder Kaubewegung für:
Zwieback 1,685 Kp, Vollkornbrot 2,268 Kp und Dauerwurst 1,709 Kp.

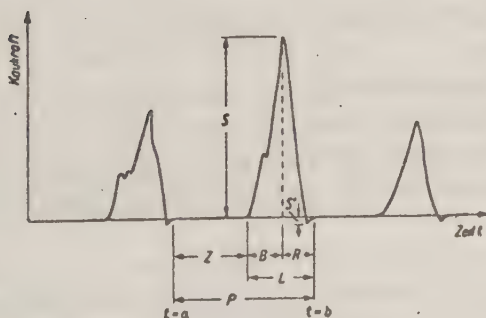
Bei der Aufteilung der Probanden in Gruppen je nach Art des Zahnersatzes konnte festgestellt werden, daß für die Zerkleinerung von Vollkornbrot im Vergleich zu Zwieback und Dauerwurst jeweils höhere Kaukräfte notwendig sind. Zwischen den Patienten ergaben sich häufig Unterschiede um mehrere Kp. Es können jedoch weit mehr Angaben aus den Aufzeichnungen von Kauvorgängen entnommen werden, als mit "der durchschnittlichen Kaukraft je Kaubewegung" umrissen ist. Sinn dieser Ausführungen ist es daher, die klinischen Feststellungen ausführlicher darzulegen, als das bisher geschehen konnte.

a) Kenngrößen

Zunächst sei erwähnt, daß als Kaufolge diejenige Kurve bezeichnet wird, die sich als Funktion der Zeit bei der Messung in einem Zahn ergibt. Als Kauvorgang werden dann alle Kaufolgen eines Meßvorganges bezeichnet Betrachtet man einen Ausschnitt aus einer Kaufolge, ergeben sich folgende Kenngrößen: Vom Zeitraum $t = a$ an wird die Nahrung von Wange und Zunge auf die Kauflächen der unteren Zähne zwischen den Antagonisten geschoben. Während dieser Zeit ist die Kaukraft gleich Null; diese Zeit wird als Zwischenzeit Z definiert. Am Ende der Zwischenzeit beginnt die Kaukraft infolge Annäherung der Antagonisten bei gleichzeitigem Zusammenpressen der dazwischenliegenden Nahrung bis zum Schwellwert S der Kaukraft anzusteigen. In

dieser Belastungszeit B braucht der Kraftanstieg nicht gleichmäßig zu erfolgen, sondern kann, z.B. durch Zerbröckeln einzelner Nahrungsbestandteile, einen unregelmäßigen Verlauf nehmen. Nach Überschreiten des Scheitelwertes fällt die Kaukraft ab, entweder wegen des Zerspringens der Nahrung (z.B. bei einer Haselnuß) oder wegen des Entferns der Antagonisten voneinander. Dabei kann die Kaukraft durch die Haftung der eingespeichelten Nahrungsmittel an den Kauflächen sogar negativ werden. Der Scheitelwert dieser Haftkraft ist mit S' bezeichnet. Der Zeitabschnitt vom Erreichen des Scheitelwertes der Kaukraft S bis zur völligen Entlastung der Kauflächen bei $t = b$ kann Restitutionszeit R genannt werden. Belastungszeit B und Restitutionszeit R zusammen ergeben die Lastzeit L. Der gesamte Zeitabschnitt $t = a$ und $t = b$ wird als Periodendauer P bezeichnet. Der Kehrwert $\frac{1}{P}$ wäre die Kaufrequenz (siehe Abbildung).

Kenngrößen



Definition der Kenngrößen beim Kauen: P = Periodendauer = $Z + L$, Z = Zwischenzeit, L = Lastzeit = $B + R$, B = Belastungszeit, R = Restitutionszeit, S = Scheitelwert der Kaukraft, S' = Scheitelwert der Haftkraft.

b) Auswertung

Bei jedem Kauvorgang wurde die Zahl der Kaubewegungen und die Zahl der Schluckbewegungen beobachtet und aufgeschrieben. Aus jeder aufgezeichneten Kaufolge konnten bei der Auswertung dann folgende Werte entnommen werden: 1. Die Zahl der registrierten

Kaubewegungen während einer Kaufolge (Kaufrequenz). Diese Zahl muß nicht mit der Zahl der beobachteten Kaubewegungen übereinstimmen, da möglicherweise während einiger Kaubewegungen andere Zähne belastet sein können, und der Zahn mit der Kaukraftdose von keiner Kraft getroffen wurde.

2. Die Zahl der Schluckbewegungen

Diese Zahl ist durch die Unterbrechung der Zeitmarke im Augenblick des Schluckens, aber auch durch den charakteristischen Verlauf der Belastung deutlich festzustellen.

3. Die Dauer des Kauvorganges in Sekunden, da die Zeitmarke stets so eingestellt war, daß von Spitze zu Spitze der Sinusschwingung 0,1 sec vergangen sind.

4. Der maximale Scheitelwert der Kaukraft auf einen Zahn während einer Kaufolge in Millimetern.

5. Der minimale Scheitelwert der Kaukraft auf den gleichen Zahn während dieser Kaufolge in Millimetern.

6. Der maximale Scheitelwert der Haftkraft an einem Zahn während einer Kaufolge in Millimetern.

Aus diesen Angaben lassen sich dann weitere interessante Werte errechnen:

1. die Summe aller Kaukräfte und 2. die durchschnittliche Kaukraft einer Kaufolge.

Die genannten Scheitelwerte wurden mit dem Stechzirkel von den Aufzeichnungen (im techn. Gebrauch "Schrieb" genannt) abgenommen und auf einem Lineal in Millimetern abgemessen; ebenso die Eichmarken vor und hinter dem auszuwertenden Kauvorgang

		Auswertung
Dauer des Kauvorganges	182 Perioden:	18,2 Sekunden
Maximale Kaukraft	27,5 mm:	2,658 Kp
Minimale Kaukraft	6,5 mm:	0,628 Kp
Summe der Kaukräfte	211,3 mm:	20,420 Kp
Durchschnittl. Kaukraft	16,2 mm:	1,566 Kp
Maximale Haftkraft	3,5 mm:	0,338 Kp
Kraft beim Schlucken 1.	27,5 mm:	2,658 Kp
2.	15,0 mm:	1,450 Kp

.... 2. Klinische Auswertung aufgrund anderer Testnahrungsmittel in Einzelversuchen:

Die Nahrungsmittel Salat, gebratenes Fleisch, magerer Speck, Haselnüsse, Apfel mit Schale, Kokosnüsse wurden stichprobenweise mit dem bei dieser Untersuchung üblichen Kaukraftmeßverfahren getestet, weil sie seit Jahrzehnten bei Kauwirkungsprüfungen als "schwierig zu zerkleinernde Nahrungsmittel" herangezogen wurden. Soweit das durch Einzelversuche möglich ist, konnte dies bestätigt werden. Hasel- und Kokosnüsse zwingen den Totalprothesenträger z.B. zu beträchtlicher Erhöhung der Zahl seiner Kaubewegungen im Vergleich zu den Durchschnittswerten der drei Testnahrungen. Folgende Ergebnisse lassen sich gegenüberstellen:

Totalprothesenträger R.B. kaut die drei Testnahrungen mit durchschnittlich 35 Kaubewegungen und der durchschnittlichen Summe aller Kaukräfte von 113,5 Kp.

Für Haselnüsse benötigt er 42 Kaubewegungen mit 141,25 Kp und für Kokosnüsse 64 Kaubewegungen mit 213,2 Kp.

Totalprothesenträger M.P. kaut die drei Testnahrungen mit durchschnittlich 33 Kaubewegungen und der durchschnittlichen Summe aller Kaukräfte von 47,5 Kp.

Für Haselnüsse benötigt sie 58 Kaubewegungen mit 82,05 Kp und für Kokosnüsse 123 Kaubewegungen mit 261,16 Kp.

Auch bei einer Patientin mit durch kleinen Brückenersatz vervollständigten Zahnreihen kann diese Feststellung bestätigt werden.

Testnahrungen: durchschnittlich 20 Kaubewegungen mit 32,9 Kp. 3 Haselnüsse 23 Kaubewegungen mit 69,52 Kp.

Damit steigt die durchschnittliche Kaukraft pro Kaubewegung natürlich ebenfalls, und zwar von 1,753 Kp auf 3,023 Kp

.....Alle drei neuen Nahrungsmittel sind offensichtlich schwieriger zu zerkleinern als die drei Testnahrungen. Grüner Salat erfordert hohe Kaukräfte und typische Mahlbewegungen. - Durch die Zubereitung ist das Fleisch weicher zäh und daher wesentlich leichter aufzuspalten als die beiden anderen Nahrungsmittel, jedoch noch schwieriger als die Testnahrungen. - Der magerere Speck wird wiederum mit größeren Kräften gekaut, jedoch mit typischen Hackbewegungen"

Die Schwierigkeiten und Unwägbarkeiten bei der Messung von Kaukräften zeigt MARTINKO auf (32): "Die Arbeiten EICHNERS und der Diskussionsbeitrag von WEBER-THEDY bringen einerseits eine moderne Meßmethode, andererseits einige theoretisch wichtige Bemerkungen zum Problem der Messung von Kräften bei Kauvorgängen. Die genaue Definition von Begriffen wurde schon von UHLIG vorgeschlagen, wobei er zwischen Kau-
druck und Kaukraft genauestens unterscheidet, für diese soll kg und für jenen kg/cm² beim Auswerten verwendet werden (1953). WEBER-THEDY wiederholt diese Forderung und erweitert sie für die Begriffe Arbeit und Leistung, dabei sollen neue Werte, kp für Kraft, kp/cm² für Druck usw., verwendet werden (1964).

Da wir uns mit dem Problem der biodynamischen Vorgänge im menschlichen Kausystem befassen, so bestand ein Teil unserer Arbeiten im Festhalten von Kräften und Kaugrößen. Wir zweifelten anfangs, genauso wie UHLIG an der Richtigkeit der in der Vergangenheit angeführten Ergebnisse. In der von UHLIG zusammengestellten Übersicht werden die wirklich gemessenen Werte zwischen 30 bis 350 kg angegeben und die berechneten Werte mit 210 bis 500 kg. Derart große Steuungen sind auffallend. Wir glaubten anfangs, die Fehler wären durch unzulängliche Auswertung verursacht. Die Teilergebnisse unserer Untersuchungen begünstigten die Annahme, daß verschiedene Methoden mit Meßeinrichtungen unterschiedlicher Konstruktion, aber auf gleichem Prinzip zu ähnlichen Ergebnissen führen. Die in dieser ersten Serie durchgeführten Untersuchungen ergaben Werte zwischen 80 N (ungef. 8 kp) und 1000 N (ungef. 100 kp), je nachdem, ob ein, zwei, drei Zähne oder die gesamte Zahnreihe belastet wurden. Dies spricht für die Annahme, daß das Ergebnis von der Anzahl der belasteten Zähne abhängig sei. Wir glaubten daher, den Schlüssel gefunden zu haben und suchten den Fehler in der Definition zu finden, um dann durch genaue Einteilung der Kräfte in der Systematik vollkommene Ordnung zu besitzen. Dies glaubten wir durch Ergänzung der von WUSTROW im Jahre 1923 vorgeschlagenen Einteilung erreichen zu können.

Deshalb benützten wir als Grundlage die von SCHUMACHER aufgrund anatomischer Meßmethoden (1 cm² Muskelquerschnitt entspricht ungef. 10 kp) gefundenen Werte und stellten für die Kräfte der Kaumuskulatur 2000 N (200 kp) fest. Dies ist die Summe der möglichen Kontraktionskräfte der einzelnen Kaumuskeln. Da nun beim Kauakt Kaubewegungen verschiedenster Richtung ausgeführt werden, so müßte man, um genau zu sein, für jede in Frage kommende Richtung die mögliche Kraftentfaltung berücksichtigen. Auch dies wurde von SCHUMACHER berechnet, nämlich für Adduktion 156 kp, für Retraktion 22 kp, für Protraktion 50 kp und für Laterotraktion 42 kp.

Da nun diese Kräfte berechnet, aber nicht durch ein Kraftmeßgerät gemessen wurden, so können sie vielleicht mit dem von WUSTROW angegebenen Begriff "der theoretisch möglichen Kaukraft" gleichgestellt werden.

Meßbar sind die peripheren Kraftäußerungen der Kaumuskulatur, für die der günstigste und einfachste Ausdruck "die Kaukraft" ist (praktisch mögliche Kaukraft? nach WUSTROW), doch müssen wir auch hier unterscheiden zwischen Kaukraft bei Adduktion, Protraktion usw., wobei auch dementsprechend verschiedene Meßergebnisse entstünden. Unbedingt notwendig ist es, die Meßmethode zu berücksichtigen, nämlich ob während der Messung einzelne Zähne oder die ganze Zahnreihe belastet wurden. Zur Definition der "physiologisch notwendigen Kaukraft" ist verschiedenes zu bemerken. Diese von WUSTROW vorgeschlagene Definition wird von ihm ungefähr folgendermaßen erklärt: "Sie ist jene Kraft, die notwendig ist, um gewöhnliche Nahrungsmittel zu zerkleinern, wobei auf das Periodontium usw. keine Rücksicht genommen werden muß." Da die Definition der physiologisch notwendigen Kaukraft leicht zu Mißverständnissen führen kann, so glauben wir zuerst folgendes feststellen zu müssen: als physiologisch notwendige Kaukraft kann z.B. die Kraft betrachtet werden, die notwendig ist, um das Parodont funktionstüchtig zu erhalten. Ist diese Kraft zu gering, so könnte Atrophie auftreten, wäre sie zu groß, so könnten traumatische Schädigungen auftreten.

Unter dem Begriff der physiologisch notwendigen Kaukraft könnte auch eine Kraftgröße betrachtet werden, die notwendig wäre, um unter physiologischen Bedingungen, d.h. im Munde, Nahrungsmittel aufzuarbeiten, zum Unterschied von z.B. extraoralen, nicht physiologischen Bedingungen, doch müßte dabei unbedingt das Periodontium berücksichtigt werden. Um Mißverständnisse zu vermeiden, scheint es uns vorteilhafter, diese zur Nahrungsverarbeitung notwendige Kaukraft einfach als angewandte Kaukraft zu definieren. Diese angewandte Kaukraft ist daher jene Kraft, die notwendig ist, um das aufgenommene Nahrungsmittel zu zerkleinern, zu zerkauen und aufnahmefähig für den weiteren Abschnitt des Verdauungssystems zu machen. Aus diesem Grunde wird die angewandte Kaukraft hauptsächlich von der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der aufzunehmenden Nahrung abhängig sein. Theoretisch betrachtet können bei der Nahrungsaufarbeitung Einzelkräfte auftreten, die die Größe der maximalen, praktisch meßbaren Kaukraft erreichen. Da nun die angewandte Kaukraft bei Kauvorgängen nur selten als einzelne, einmalige Kraft, aber gewöhnlich als Zyklus aufeinanderfolgender Kaukräfte verschiedener Richtung und Stärke auftritt, so ist es angebracht, in diesen Fällen bei einer Auswertung der angewandten Kaukraft von Kauarbeit oder von Kauleistung zu sprechen.

Wie aus den eben angeführten Beobachtungen ersichtlich ist, kann die angewandte Kaukraft gelegentlich jene Größen erreichen, die bei Messungen der Kaukraft festgehalten werden und bildet dabei eine spezielle Kategorie von Kraftäußerungen der Kaukraft; daher glauben wir, die angewandte Kaukraft als Untergruppe der praktisch meßbaren, möglichen Kaukraft betrachten zu dürfen.

Da nun bei Kaukraftmessungen in der Vergangenheit gewöhnlich die maximalen, meßbaren Werte angegeben wurden, so stellten die ermittelten Werte praktisch erreichbare Höchstwerte dar. Aus diesem Grunde ist zu unterscheiden, ob bei der Messung Kräfte über Schleimhaut, Zähne oder

Zahnersatz auf die Meßeinrichtung gelangten. Weiter ist es notwendig, die Belastungsgrenze des Zahnes bei Kaukraftmessungen nicht mit der Kaukraft zu verwechseln oder gleichzusetzen. Als maximale, mögliche, meßbare Kaukraft glauben wir daher jene Kraft betrachten zu dürfen, die zwischen Ober- und Unterkiefer bei vollständigen Zahnreihen gemessen werden kann (bei Adduktion, Retraktion usw.). Demgegenüber werden die Höchstwerte für die mögliche Belastung einzelner Zähne niedriger sein.

Methodik. Um die Belastungsgrenzen der einzelnen Zähne festhalten zu können, unternahmen wir Messungen mit einem mechanischen Gnathodynamometer eigener, einfachster Konstruktion. Dieser Kaukraftmesser hatte auswechselbare Federn (Spiralen), so daß verschiedene Registrierbereiche eingestellt werden konnten, außerdem waren die für die Berührung mit der Zahnoberfläche bestimmten Flächen einerseits so klein, daß sie während der Messung keinen Nebenzahn berührten, andererseits konnten diese Flächen ausgetauscht werden. Wir benützten für die Flächen Auflagen aus Hartmetall, Kunstharz, Hart- und Weichgummi in der Annahme, bei Messungen den Zähnen der Versuchspersonen keinen Schaden zuzufügen, zugleich aber die Belastungsgrenze der einzelnen Zähne sowie auch die Belastungsgrenze der Wurzelhaut pro mm² richtig ermitteln zu können.

Die auf diese Weise gefundenen Ergebnisse waren derart verschieden, daß wir anfangs der Überzeugung waren, die Meßeinrichtung wäre nicht in Ordnung. Die gefundenen Werte waren nämlich bedeutend niedriger als jene, die in der Vergangenheit von MORELII, SCHNOWNALD, SCHWANDER, UHLIG u.a. ermittelt worden waren. Auch war das Verhältnis der Werte für Schneide-, Eck- und Backenzähne nicht im Einklang mit den bis jetzt angeführten Angaben und Werten. Aus diesem Grunde unternahmen wir systematische Messungen, wobei die Auflagen der Meßeinrichtung nicht gewechselt wurden, sondern sämtliche Messungen zuerst mit Metallaufgabe, nachher mit Kunstharzaufgabe usw. durchgeführt wurden.

Ergebnisse. Das Verhältnis der gefundenen Werte zwischen Hartmetall, Kunstharz und Hartgummi entsprach, trotz individueller, oft abweichender Angaben, von subjektiven Gefühlen der Versuchspersonen bedingt, der physikalischen Beschaffenheit der Auflage.

	<u>Hartmetall</u>	:	<u>Kunstharz</u>	:	<u>Gummi</u>
Frontzähne	1	:	2,25	:	2,75
Backen-, Mahlzähne	1	:	3,5	:	3,9 - 5,0

Da nun die Messungen stets mit derselben Meßeinrichtung durchgeführt wurden, muß der Grund der verschiedenen Ergebnisse nur in der physikalischen Beschaffenheit der Auflage zu suchen sein. Nach genauester Analyse, Auswertung und Überprüfung wurde der qualitative Beweis erbracht, daß die Belastungsgrenze des Zahnes auch durch die Pulpa beeinflusst wird. Je kleiner die der Zahnoberfläche aufliegende Fläche der Meßeinrichtung, um so eher wird die Belastungsgrenze des Zahnes durch Reizleitung - via pulpa - bestimmt. Ist die Fläche der auf der Zahnoberfläche aufliegenden Meßeinrichtungen größer, so kann die Reizleitung - via periodontium - angenommen werden, doch kann dabei die Reizleitung die Pulpa nicht ausgeschlossen werden. Durch Kontrollmessungen, bei denen wir annehmen dürfen, daß die Reaktion der Periodontiums bei der Auswertung vernachlässigt werden kann, erhielten wir bei Krafteinwirkung auf die Zahnoberfläche schon bei Werten von nur 50 N (5 kp) Angaben über Unbehagen und leichten Schmerz seitens der Versuchspersonen. Sehr bemerkenswert sind die Angaben über Gefühle nach plötzlichem Aufhören dieser relativ geringen Kraft. Die Versuchspersonen gaben an, ein ähnliches Gefühl gehabt zu haben wie bei elektrischer Reizung des Zahnes. Da nun unsere neuesten Erfahrungen vorläufig nur qualitativ ausgewertet sind, so können wir noch keine quantitativ einwandfreien Ergebnisse angeben. Trotzdem ist es aber möglich, aufgrund unserer Erfahrungen mit Kaukraftmessungen eine genauere Einteilung der Kaukräfte und der bei Kauvorgängen auftretenden Kräfte zu geben

Mit Kaukraftmessungen beschäftigten sich auch Nicht-Zahnärzte. So veröffentlichte 1956 der Dipl.-Physiker G.BECK aus dem Hannoverschen Forschungsinstitut für Fertigungsfragen e.V. eine Arbeit über das Verhalten menschlicher Zähne beim Kauvorgang (2). Hier heißt es u.a.:

"1. Problemstellung. In der Technik ist das elastische Verhalten von Werkstoffen unter Einwirkung einer Kraft seit langem bekannt und experimentell bestimmt worden. Bei biologischen Stoffen sind diese Messungen schwierig durchzuführen, weil es sich meist um inhomogene und kleinere Proben handelt. Das Hannoversche Forschungsinstitut für Fertigungsfragen e.V. wurde zufolge seiner Erfahrungen und Einrichtungen für präzise Messungen gebeten, die im folgenden beschriebenen Versuche auszuführen. Es handelt sich dabei um objektive Größenfeststellungen. Die Folgerungen auf medizinischem und biologischem Gebiet seien dem Fachmann vorbehalten.

Diese Arbeit befaßt sich zunächst mit der Messung der Dehnung des Umfanges an einem menschlichen Zahn bei Belastung. Es folgt dann in zeitlicher Registrierung das dynamische Verhalten zweier Zähne beim Kauakt (Ober- und Unterkiefer); daraus ergibt sich die Abhängigkeit der Dehnung von der mechanischen Spannung zu jedem Zeitpunkt. Als Abschluß wird der Kaukraft-Endwert bei verschiedenen Nahrungsmitteln gemessen, um daraus das Dehnungsverhalten beim Kauen dieser Nahrungsmittel zu folgern.

2. Versuchsaufbau: Der Zahn wurde - den natürlichen Verhältnissen entsprechend - im unteren Drittel mit Gießharz in ein Metallfutter eingegossen. Das Gießharz der BASF ist nachgiebig (E-Modell 31800 kg/cm²) und kann dadurch mit der Einbettung im Kiefer verglichen werden. Die Belastung von 0 - 150 kg wurde zunächst auch auf ein oberes Futter, in das der obere Teil der Zahnkrone ebenfalls mit Gießharz eingegossen war, aufgebracht. Zum Teil wurde mit einer ebenen Fläche die Krone selbst belastet oder auch eine planparallele Fläche an die Krone angeschliffen, auf die die Kraft wirkte.

3. Verhalten des Zahnes unter Belastung. Mit der im vorigen Abschnitt geschilderten Versuchseinrichtung wurde die Dehnung des Zahnes festgestellt. Die Belastung wurde in 10-kg-Stufen von 0 bis 150 kg variiert. Der physiologische Kaudruckbereich liegt im allgemeinen zwischen 50 und 150 kg. Mit zunehmender Belastung steigt die Dehnung proportional an. Es gilt also das von anorganischen Werkstoffen gut bekannte Hooke'sche Gesetz, nach dem die Dehnung dem auf dem Prüfling lastenden Druck proportional ist. Als Druck bezeichnet man die auf die Flächeneinheit bezogene Kraft. Für das elastische Verhalten eines Zahnes ist also maßgebend das Verhältnis

$$\frac{\text{Druck}}{\text{Querdehnung}} = y = \frac{\text{auf den Zahn wirkende Kraft, umgerechnet auf 1 qmm}}{\text{relative Zunahme des Durchmessers}}$$

Dieser Wert y sei im folgenden als Zahnkenngröße bezeichnet.

Bei gegebener Kraft muß man daher stets die Fläche, auf die die Kraft wirkt (Kraftangriffsfläche), angeben. Je größer bei gleicher Kraft die Kraftangriffsfläche, desto kleiner der Druck, desto kleiner die Dehnung. Berührt der Zahn nur mit einer kleineren Fläche den Oberkiefer, so tritt ein entsprechend größerer Druck auf.

.... Die verschiedenen Belastungsarten (a. mit Oberfutter b. auf die Zahnkrone selbst, c. auf eine angeschliffene Fläche) bringen keine Abweichung im Druck/Dehnungsschaubild des Zahnes, weil in der Darstellung die Kraft auf die Kraftangriffsfläche bezogen ist und vorher bereits festgestellt worden war, daß bei gleichem Druck die gleiche Dehnung reproduzierbar ist. Bei allen Versuchen konnte eine bleibende Verformung nach der Belastung nicht nachgewiesen werden.

.... Die dynamische Aufnahme ersetzt die Punkt für Punkt gemessene Funktion, wie sie am Schneidezahn ausgeführt wurde. Zu diesem Versuch wurde zwischen die beiden Zähne ein möglichst elastischer Stoff gelegt. Ein Radiergummi erwies sich als zu weich und wurde durchgebissen. Als zweckmäßigstes Gewebe, das die Kaukraft von 187 kg noch aushielt, be-

währte sich eine Mischung von Gummi und Fasergewebe, wie sie in Autoreifen Verwendung findet. Der künstliche Oberkiefer wurde mit der Presse stetig gegen den Unterkiefer bewegt bis die Kaukraft den maximalen Wert von 187 kg erreicht hatte. Dann wurde er wieder nach oben gezogen. Der Unterkiefer stand während des Versuches still. Der Beginn des Versuches wurde in einem größeren Maßstab der Dehnung dargestellt. Es ist zu ersehen, daß praktisch sofort nach Einwirken der Kaukraft auch die Dehnung eintritt. Eine Verzögerungszeit müßte - verglichen mit dem Zeitmaßstab - kleiner als $1/10$ sec. sein. Wie bereits im Abschnitt 3 angedeutet, ist spätestens eine Sekunde nach Entlastung keine Remanenz, d.h. keine bleibende Verformung des Zahnes zu erkennen. In dem darauffolgenden Versuch wurde eine weichere Gummiart zwischen die Zähne gelegt und der Belastungsvorgang wiederholt. Es war zu erkennen, wie die Kaukraft bis 105 kg ansteigt, dann spontan auf 73 kg sinkt und wieder langsam ansteigt. Bei diesem Sprung ist ein Einbiß in die Gummimasse erfolgt. Fast genau so schnell wie die Kaukraft bricht auch die Dehnung zusammen. Auch hier kann man behaupten, daß eine Verzögerung zwischen dem Wirken der Kaukraft und der Einstellung der Dehnung praktisch nicht existiert. Bei genauer Betrachtung wird man erkennen, daß auch bei dem dortigen Gewebe bei der maximalen Kaukraft ein kleiner Einbiß erfolgt ist und Kaukraft und Dehnung kurzzeitig zusammenbrechen."

2. Kaukräfte bei Parafunktionen

Kaukräfte teten aber nicht nur beim Zerkleinern der Nahrung auf, sondern auch bei den Parafunktionen des mandibulo-maxillären Organes. Diese wurden ebenfalls vielfach untersucht und beschrieben, z.B. von SCHREIBER (45) 1957: ".... Und einerseits kann aus diesen Befunden erneut gefolgert werden, welche unnatürliche und daher auch schädliche Kraftentfaltung das nächtliche Pressen und Knirschen

ist, weil eben dabei die noch so kurzen aber unbedingt notwendigen Erholungspausen fehlen. Nach den Untersuchungen über das nächtliche Pressen und Knirschen, welche von SIMON an unserer Klinik durchgeführt wurden, dauert ein solcher Preßvorgang durchschnittlich fast 3 Minuten."

Aus einer der wohl maßgeblichsten Arbeiten sei hier zitiert. KRAFT veröffentlichte sie 1959 und 1960 (28). Er verarbeitete hierin auch die gesamte diesbezügliche Literatur: "... Während es mehr oder weniger bewußtes oder unbewußtes Ziel war, eine Aussage über jene Kräfte zu erhalten, die unter Umständen beim Kauen, d.h. bei der Nahrungszerkleinerung höchstensfalls eingesetzt werden können, interessiert die Arbeit der Kaumuskulatur auch aus einem anderen Grunde. Schon KAROLYI hat auf jene Aktionen hingewiesen, die eindeutig nicht auf Nahrungszerkleinerung gerichtet sind, sondern bei denen sich unabhängig von den Mahlzeiten ein Zusammenpressen der Zähne von einem Reiben der Kauflächen gegeneinander unterscheiden läßt. Nach dem genannten Autor auch als Karolyieffekt bezeichnet, sind für diese Art der Kaumuskeltätigkeit in der Literatur die verschiedensten Bezeichnungen gebräuchlich. Da gelegentlich unter besonderen Bedingungen bei den Reibebewegungen Knirschgeräusche entstehen, spricht man, verallgemeinernd auch vom Zähneknirschen. In der ausländischen Literatur wird meist zusammenfassend der Ausdruck Bruxismus benutzt, während DRUM den Begriff der Parafunktion einführte. In jüngster Zeit hat UHLIG alle die Aktionen des Unterkiefers gegen den Oberkiefer, bei denen die Kauflächen der Zähne wegbestimmend sind und die als unabhängig von der Nahrungszerkleinerung auftreten, als Leermastikation bezeichnet. Während nun bei Tage eine solche Muskeltätigkeit, da nervös gesteuert, in physiologischen Grenzen gehalten wird, ist es denkbar, daß eine Leermastikation während des Schlafes unter einem ungleich größeren Kraftantrieb erfolgen kann, da die sensible Kontrolle dann

stark gemindert, wenn nicht ganz ausgeschaltet ist. Diese Vermutung wird gestützt durch die Angaben vieler Patienten, die von Muskelschmerzen des Masseters und des Temporalis nach dem Erwachen berichten, die auf eine Überanspruchung hindeuten. Ebenso bekannt ist die Tatsache, daß manche Menschen während des Schlafes dermaßen mit den Zähnen knirschen, daß Angehörige, die mit ihnen das Zimmer teilen, davon geweckt werden. Weiterhin lassen sich gewisse Rückschlüsse aus dem Abrieb der Zähne vieler Gebisse ziehen, dessen Substanzverlust, der in manchen Fällen fast die gesamte Krone umfaßt, nicht aus einem natürlichen Verschleiß durch das Kauen erklärt werden kann.

Ober die Verbreitung dieser Leermastikation während des Schlafes und die dabei auftretende Intensität der Kräfte ist bisher nur wenig Exaktes bekannt, da konkrete, an einer großen Anzahl von Menschen ermittelte Daten über diese Muskeltätigkeit und deren Krafteinwirkung an den ihnen ausgesetzten Zähnen und deren Halteapparat fehlen. Weil in diesem Geschehen mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit eine wesentliche Ursache einer Destruktion menschlicher Gebisse zusehen sein dürfte, ist eine objektive Erfassung dieses Phänomens für die Zahnheilkunde von nicht zu unterschätzendem Wert. Die Kenntnis solcher Grundlagen ist speziell für einzelne Fachrichtungen der Zahnheilkunde von Bedeutung. Die Kieferorthopädie, die zur Korrektur von Zahnstellungs- und Kieferanomalien orthopädische Apparate verwendet, mit denen Muskelkontraktionen therapeutisch ausgenutzt werden, kann so Aufschluß darüber erhalten, welche Kräfte auf die Apparate bzw. auf die zu beeinflussenden Zähne und Kieferanteile wirken. Im Hinblick auf die Behandlung der Parodontopathien, deren Ursache unter anderem in einer Überbelastung einzelner Zähne oder Zahngruppen gesehen wird, könnte auf diese Weise eine Beurteilung der Kräfte ermöglicht werden, denen der Zahnhalteapparat ausgesetzt ist.

Ebenso ist es für die zahnärztliche Prothetik wünschenswert zu wissen, welchen unkontrollierten Beanspruchungen der Zahnersatz besonders während des Schlafens standhalten muß und welche Kräfte er durch seine Lage im Gebiß auf dieses weiterleitet. Daraus lassen sich bedeutungsvolle Hinweise für die Gestaltung der Zahnersatzformen sowie auch in Bezug auf werkstoffkundliche Fragen ableiten.

So ist es das Ziel vorliegender Arbeit, wenn möglich etwas über die Größe der bei der Leermastikation während des Nachtschlafes waltenden Kräfte zu vermitteln. Dabei soll festgestellt werden, ob diese Kräfte andauernd oder rhythmisch wirksam sind. Im Falle rhythmischer Kaumuskelaktionen wäre gleichzeitig zu prüfen, in welcher Zahl, Dauer und zeitlichen Verteilung solche Kraftäußerungen auftreten.

Literaturübersicht. Bisher liegen nur wenige Ergebnisse exakter Untersuchungen der Kaumuskel-tätigkeit während des Schlafes vor. Dies ist deshalb erklärlich, weil eine Kontrolle und quantitative wie qualitative Registrierung außerordentlich schwierig ist, da die schlafende Versuchsperson nicht gestört werden darf. Dagegen ist die Zahl der Veröffentlichungen über Ursache und Auswirkung des sog. Knirschens und Pressens fast unübersehbar. Im folgenden seien daher nur die Darlegungen der Autoren einander gegenübergestellt, die zu unterschiedlichen und oft entgegengesetzten Deutungen dieses Phänomens gelangen.

Es ist zweifellos ein besonderes Verdienst KAROLYIS als erster 1901 auf jene exzeptionelle Kaumuskel-tätigkeit hingewiesen zu haben, die unabhängig von der Nahrungszerkleinerung die Zahnreihen unter beachtlichem Kräfteaufwand gegeneinander führt. Er sah in diesem Verhalten, das nach seiner Meinung fast allen Menschen nicht nur am Tage, sondern auch nachts eigen sei, einen ausgeprägten Kaukraft-mißbrauch. MÖLLER beschäftigte sich etwa 2 Jahrzehnte später ebenfalls eingehend mit diesen Vorgängen und gab eine ausführliche Beschreibung und Klassifizierung des sogenannten Karolyieffekts. Er unterschied "tonische Kaumuskel-

krämpfe" und solche "klonischen Charakters". Bei den ersteren werden die Zähne entweder in normaler Okklusion unter beidseitiger, dagegen ganz selten einseitiger Beteiligung der Mm. mass. und temp. heftig gegeneinander gepreßt, oder aber dieser "tonische Krampf" tritt unter zusätzlicher Wirkung der Mm. pterygoidei bei seitlicher Verschiebung der Zahnreihen in einer abwegigen Okklusion auf. Beim "klonischen Krampf" unterscheidet der Autor ebenfalls zwei Erscheinungsformen:

1. in vertikaler Richtung (Zähneklappern) unter Mitwirkung der Mm. masseteres, temporales, mylohyoidei und digastrici;
2. in horizontaler Richtung (Knirschen) unter Mitwirkung der Mm. masseters, temporales und pterygoidei.

WALTERS hebt hierzu ergänzend hervor, daß der Knirscher während des Schlafes oft außerordentlich extreme "klonisch"-horizontale Kieferbewegungen durchführt, die sich aus Stellungsveränderungen und Schliffflächen der Zähne rekonstruieren lassen, zu denen er bei Tage nur schwer zu veranlassen ist. Im Gegensatz dazu spielen sich das Pressen ("tonisch"-vertikal) so ab, daß die Luft aus dem Donderschen Raum ausgesaugt und der Zungenrücken an den Gaumen gepreßt wird. Die Lippen, Wangenmuskulatur und die Kaumuskeln verharrten dabei äußerlich sichtbar in einem Krampfzustand. Die oft dauernd bei einem Patienten zu beobachtende Abzeichnung der Profile der Zahnkanten an seiner Wangen- und Lippenschleimhaut legen nach Meinung von WALTERS Zeugnis für diese Saugwirkung ab. Die Frage nach der Ursache dieser Kaumuskelkontraktionen wird von den einzelnen Autoren unterschiedlich beantwortet. Während KAROLYI Darmträgheit und Verstopfung als auslösendes Moment ansieht, sind MOLLER und LEAN (zit. nach SICKÉ) der Meinung, daß Würmer im Magen-Darmtraktus im Zusammenhang mit der beschriebenen Erscheinung stehen. CATEL erklärt, daß das Zähneknirschen bei Kindern hauptsächlich als Ausdruck einer Gewohnheit bei Neuropathie mit der Möglichkeit einer Persistenz in das

Erwachsenenalter hinein anzusehen ist. Ferner hält er es für ein Hinweissympton auf adenoide Vegetation. Hierin konnte CATEL die Befunde BENJAMINS (zit. nach SICKÉ) bestätigen. Häufig begegne man dem Zähneknirschen bei zerebro-spinalen Krankheitsbildern, besonders bei Meningitis tuberculosa. Ein Zusammenhang zwischen Kaumuskelkrampf und Tetanie oder Epilepsie sei klinisch nicht begründet.

Dagegen behauptet HUFSCMID und HUFSCMID-HEIM, daß sie eine sich über Jahre erstreckende Beobachtung von zwei jugendlichen Knirschern an einen ursächlichen Zusammenhang mit einem Kalkmangel bzw. einer latenten Tetanie denken ließe. Die auf Grund der Vermutung durchgeführte Behandlung mit Kalk und Vitamin D hatte allerdings keinen Überzeugenden, erst die Gaben von AT 10 einen eindeutigen Erfolg. REICHERT ist der Ansicht, daß das Knirschen und Pressen mit einer Änderung des Blutdrucks in Verbindung steht und erklärt: "Der tiefere Grund des Zähneknirschens dürfte meist aus den Folgen einer überreizten oder abgestumpften Zellgruppe hervorgehen, die nach Blutdruckerhöhung verlangt." Er führt als Beispiel eine Patientin an, die des Nachts stark knirschte, bei der er durch Blutdruckregulierung diese Erscheinung zum Abklingen brachte. Nach SCHWARZ, HARNISCH, JANKELSON und DRUM können aber auch Artikulationsstörungen als Ursache für das Zähneknirschen angesehen werden. JANKELSON konnte durch eine dünne Acrylatschicht auf den Kauflächen einzelner Zähne einen Bruxismus künstlich erzeugen: entweder wurden die Zähne zusammengepreßt (Versuch der Hindernisüberwindung) oder sie rieben aufeinander (Versuch Platz zu schaffen). Ebenso kann nach SCHWARZ die Wange bei Seitenlage durch die Schlafunterlage zwischen die Zahnreihen gedrängt werden und dann den gleichen Reiz darstellen. Eine entscheidende Bedeutung für die Ätiologie des Knirschens und Pressens messen SCHWARZ, SPITZER, WALTERS und SEELIG der Kopfhaltung bzw. Schlaflage zu. Ausgehend davon, daß sich ein Muskel um so leichter kontrahiert, je näher seine Insertionen aneinander gebracht werden, während man Krämpfe durch Extension der kontrahierten Muskeln löst, würde dies, auf die Kieferverhältnisse be-

zogen, bedeuten, daß der Kontraktionsreflex um so leichter eintreten wird, je näher sich die Zahnreihen sind. Ventralhaltung des Kopfes, bei der die Zähne der beiden Kiefer fast bis zur Berührung nahe zusammenliegen, wird also zum Auslösen des Knirschens und Pressens prädestinieren, die Dorsalhaltung mit ihrem relativ großen Abstand der Zahnreihen voneinander wird das Eintreten des Reflexes erschweren. Trotzdem kann es nach SCHWARZ auch bei Dorsallage des Kopfes dann zu nächtlichem Knirschen und Pressen kommen, wenn bei geschlossenen Lippen der Unterkiefer im Schlaf weit herabsinkt und dadurch in der Mundhöhle ein größerer negativer Druck entsteht als in der gewohnten Ruheschwebelage mit etwa 2 - 3 mm Zahnreihenabstand: der höhere Außendruck nämlich preßt die Wangen und Lippen zwischen die Zähne und setzt so einen Reiz, der den Karolyieffekt auslösen kann. (Die Impressionen der Zähne an der Wangenschleimhaut sind nach Meinung dieses Autors eine Auswirkung des höheren Außendrucks und nicht, wie WALTERS meint, die Folge eines aktiven Saugens, das mit dem "tonisch-vertikalen Pressen" vergesellschaftet sei). Ein solcher Reiz kann bei Dorsallage des Kopfes nur dann nicht entstehen, wenn die Lippen leicht geöffnet sind, so daß die Zunge zwar noch dem Gaumen anliegt, wodurch die Nasenatmung beibehalten wird, aber im vorderen Teil des Mundes zwischen Wangen und Zähnen kein negativer Druck wirksam wird. Da das Kauorgan nicht nur Werkzeug zur Nahrungszerkleinerung ist, sondern zugleich auch seelische Funktionen widerspiegelt und zum Ausdruck bringt, sehen viele Autoren bestimmte Zusammenhänge zwischen diesem Kaumuskel-Effekt und psychischen Anlässen. Ebenso wie nach KAROLYI Schmerz, Zorn und starker Wille bei körperlichen und geistigen Anstrengungen im Wachsein zum Pressen und Knirschen führen können, ist es möglich, daß diese Muskelkrämpfe während des Schlafes durch psychische Konflikte ausgelöst sind, die mit der Verlagerung auf das Kauorgan abreagiert werden. Die gleiche Meinung äußern GUTENSOHN, FAUST, MIKOREY, GERLACH, ACHT, TAUCHERT, JANKELSON, DRUM u.a.. STARKE (zit.

n. LANGENOHL) nimmt an, daß das Knirschen durch nervöse Reize von Vagusfasern ausgelöst wird, die mit den motorischen Nerven in die Kaumuskulatur eintreten. Diese Reize könnten Übertragungen psychischer Affekte durch das vegetative Nervensystem sein und sich als Störungen innerhalb der vegetativen Regulation äußern. REICHERT fand, daß die meisten Knirscher und Presser dem leptosomen Konstitutionstyp (KRETSCHMER), also jenem Typ, bei dem man oft ein labiles Nervensystem vorfindet, angehören. Auch JARMER stellte gewisse Zusammenhänge zwischen dem Karolyieffekt und besonderer Veranlagung fest. Er spricht von einem Knirschertypus und kommt zu dem Schluß, daß die Spasmodiker und die Gruppe der manisch-depressiven Neurastheniker und Hysteriker das Hauptkontingent der Knirscher stellen. Während der Karolyieffekt überwiegend als Folge äußerer Reize oder psychischer Affektionen sowie als Hinweis auf Allgemeinerkrankungen angesehen wird, betrachten einzelne Autoren diese Muskelaktionen unter teleologischen Aspekten. LANGENOHL meint, daß es sich um eine Notmaßnahme der Natur handelt, um dem jugendlichen Gebiß die notwendige Aktivität zu verleihen, da die weitverbreitete Art der Flaschenernährung mit der darauf folgenden Darreichung breiiger Kost als zur Entwicklung notwendiger funktioneller Reiz nicht ausreiche. Aus diesem zweckentsprechenden Verhalten der Kaumuskulatur würde dann allerdings nach abgeschlossenem Kieferwachstum eine üble Angewohnheit, die das Kauorgan durch übertriebenes Knirschen und Pressen schädige. Auch GUTENSOHN ist mit H. und M. VOGT (zit. nach GUTENSOHN) der Auffassung, daß in vielen Fällen der Karolyieffekt als Notwehr der Natur gegen die Unterfunktion anzusehen ist. Ebenso betrachtet STEINER (zit. nach GUTENSOHN) die "Kaumuskelkrämpfe als funktionelle Fehlleistung, weil der heutige Mensch gar nicht mehr zum Kauen Zeit hat, auch keine Lust und keinen Zwang dazu empfindet." Als Folgen dieser unbewußten Muskelaktionen werden neben wenigen günstigen vor allen Dingen schädliche Auswirkungen auf das Kauorgan beschrieben. SCHWARZ und SICKÉ sind der Meinung, daß die mit dem Knirschen verbundene Abrasion der Zahnhöcker des

Milchgebisses das Zustandekommen der normalen Okklusion im bleibenden Gebiß begünstigt, indem die Vorentwicklung des Unterkiefers erleichtert wird. Es kann im Rahmen dieser Untersuchung nicht näher auf die Abrasion des Erwachsenengebisses eingegangen werden. Soweit die Literatur erkennen läßt, sind die Ansichten über ihre Bedeutung, d.h. über die Zweckmäßigkeit dieser Erscheinung, geteilt. Daher faßt UHLIG zusammen: "Die Autoren, die das Phänomen teleologisch deuten, indem sie unterstellen, der Vorgang geschehe planmäßig mit dem Ziel, das relativ stumpfe Höckergebiß in ein "angeschäftetes" Kauwerkzeug zu transformieren, lassen allerdings offen, wo die Grenze zwischen nutzbringender Abrasion und sinnlosem (gelegentlich vollständigem) Gebißverschleiß liegt." Dagegen herrscht hinsichtlich des schädlichen Charakters zahlreicher anderer Folgen des Knirschens und Pressens kaum Meinungsverschiedenheit. KAROLYI schreibt, daß der durch die Kontraktion der Muskeln überlastete Zahn in erster Linie infolge des Druckes an Zirkulationsstörungen und dadurch in seiner Ernährung leidet. Weiterhin erklärt er mit diesem Belastungstrauma nicht nur Zahnbettterkrankungen, die heute nach WILLIGER und HAMMER unter der Bezeichnung Parodontose zusammengefaßt werden, sondern auch das plötzliche Absterben gesunder Pulpen. Ja sogar die Karies hält KAROLYI wegen gewisser trophischer Störungen für eine Folge der Überlastung.

Neben vielen anderen weisen vor allem ADLER und LANGENHOHL auf die durch Druck verursachte Knochenathropie als Folge der Abschnürung von Nerven und Gefäßen hin. Sie heben hervor, daß es durch das Knirschen und Pressen ebenso zu Schmelzsprüngen wie zustellungsänderungen der Zähne kommen kann. Besonders HXUPL macht auf das nächtliche Zähneknirschen aufmerksam, das im Rahmen "übersteigerten funktionell-mechanischer Reize" auf den Zahnhalteapparat einwirkt und ein Mißverhältnis zwischen "funktioneller Inanspruchnahme einerseits und Widerstandsleistung des beanspruchten Stützgewebes - vor allem der Wurzelhaut - andererseits" herbeiführt. Bezüglich des Vorkommens des Karolyi-

effektes gehen die Meinungen stark auseinander. BENJAMIN (zit. nach SICKE), der in Utrecht Untersuchungen an Schulkindern vornahm, und nur die "klonisch-horizontalen Kaukrämpfe" einbezog, kam zu dem Ergebnis, daß 13,6 % aller Schulkinder knirschen, soweit die Kinder selbst oder die Eltern es wußten. MÖLLER fand bei seinen Untersuchungen aller Kaumuskelkrämpfe in den Universitätskliniken München und Münster eine Zahl von 20 %, in der die "horizontalen klonischen Krämpfe" viel öfter vorkamen als erwartet. MÖLLER kam zu dem Schluß, daß man bei den Wirkungen der Kaumuskelkrämpfe auf Zahn und Zahnstellung fast nur mit dem "tonischen Trismus" (Masseterenkrampf) und dem "klonischen horizontalen Kaukrampf" (Knirschen) zu rechnen hat, während die "klinische" vertikale Form (Zähneklappern) ganz zurücktritt. SICKE beobachtete in Kindergärten 2- bis 5-jährige Kleinkinder und registrierte 78 % Knirscher. Sehr weit geht die Behauptung von GUTENSOHN, der der Ansicht ist, daß die Mehrzahl der in unserem heutigen Kulturkreis lebenden Menschen preßt und knirscht, und der damit noch von KAROLYI übertroffen wird, der in seinen Betrachtungen davon ausgeht, daß mehr oder weniger alle Menschen im Schlaf an Kaukrämpfen leiden

..... Untersuchung der Leermastikation schlafender Menschen

Nach z.T. recht langwierigen Vorarbeiten konnte sodann mit der eigentlichen Untersuchungsreihe begonnen werden. Die 167 Personen, deren Kaumuskel-tätigkeit während des Schlafes zu untersuchen war, wurden willkürlich aus unserem Patientenkreis ausgewählt. Es mußte lediglich - um einen repräsentativen Querschnitt zu bekommen - darauf geachtet werden, daß in dieser Gruppe Personen beiderlei Geschlechts aller Altersgruppen und unterschiedlicher Berufe enthalten sind. Die Probanden schliefen während des Versuches in einem Einzelzimmer unserer Klinik; dort wurde nach erfolgter Eichkurvenaufnahme jede Störung von ihnen ferngehalten. Während der Untersuchungen zeigte sich, daß die beschriebene Anlage für das Registrieren der Kaumuskel-tätigkeit während des Schlafes

geeignet ist. Die außerhalb des Untersuchungsziimmers aufgestellten Geräte arbeiteten vollautomatisch und ohne Aufsicht. Sie stellten vor allem einschließlich der Ableitungsvorrichtung keine Störung für die Versuchspersonen dar. Hiervon konnten wir uns durch wiederholte Selbstversuche eindeutig überzeugen. Dies erscheint im Hinblick auf den Aussagewert der Untersuchungsergebnisse von nicht geringer Bedeutung.

..... Die Ergebnisse der Auswertung aller Protokolle und Registrare, die wir gemeinsam mit den Doktoranden EMRICH und NEUBAUER erhoben, lassen sich entsprechend der dieser Arbeit zugrunde liegenden Fragestellung wie folgt zusammenfassen:

I) Zahl der Kaumuskelaktionen bei den einzelnen Probanden während einer Schlafzeit von etwa 8 Stunden.

A) 20 Pers. - 12,0 % ohne Muskelaktionen

B) 147 Pers. - 88,0 % mit Muskelaktionen, darunter

a) 52 Pers. = 31,1 % mit geringer Zahl von Muskelaktionen (unter 15)

b) 45 Pers. = 26,9 % mit mittlerer Zahl von Muskelaktionen (15 - 30)

c) 50 Pers. = 30,0 % mit großer Zahl von Muskelaktionen (über 30).

Das arithmetische Mittel (A) der Zahl der Muskelaktionen liegt in der Gruppe I, B, c zwischen 31 und 259.

A = 70

II) Dauer der Muskelaktionen

Bei 147 Probanden wurden insgesamt 4862 meßbare Kaumuskelreaktionen registriert.

Davon waren

a) 2451 = 50,5 % von kurzer Dauer (unter 1 sec)

b) 1885 = 38,8 % von mittlerer Dauer (1-2,5 sec)

c) 526 = 10,7 % von längerer Dauer (über 2,5 sec)

Das arithmetische Mittel (A) der Dauer der Muskelaktionen liegt in der Gruppe II, c zwischen 2,6 sec und 53 sec.

A = 5,2 sec

III) Häufigkeitsverteilung der Kaumuskelaktionen innerhalb einer Schlafzeit von etwa 8 Stunden

Die Muskelaktionen sind verteilt bei

- A) 99 Personen = 67,4 % wahllos über die gesamte Schlafzeit
- B) 48 Personen = 32,6 % vorwiegend auf bestimmte Zeiten darunter
 - a) 14 Pers. = 9,5 % vorwiegend auf die Einschlafzeit
 - b) 18 Pers. = 12,2 % vorwiegend auf die Zeit vor dem Erwachen
 - c) 16 Pers. = 10,9 % vorwiegend auf die Zeit des Einschlafens und Erwachens

IV) Unterschiedliches Vorkommen von klonisch-horizontaler und tonisch-vertikaler Leermastikation

Bei

- a) 75 Personen = 51,0 % fanden wir vorwiegend klonisch-horizontale Leermastikation ("Knirscher")
- b) 72 Personen = 49,0 % fanden wir vorwiegend tonisch-vertikale Leermastikation ("Presser")

V) Registrierte Muskelaktionen in kg-Werten

Bei

- a) 36 Personen = 24,5 % fanden wir vorwiegend geringe Kräfte (unter 10 kg)
- b) 80 Personen = 54,4 % fanden wir vorwiegend mittlere Kräfte (10 bis 20 kg)
- c) 31 Personen = 21,1 % fanden wir vorwiegend große Kräfte (über 20 kg)

Das arithmetische Mittel (A) der Kraft liegt in der Gruppe V, c zwischen 21 kg und 42 kg.

A = 27 kg

Um zu prüfen, ob das Lebensalter der Versuchspersonen in irgend einer Weise die Leermastikation beeinflusst, verglichen wir die Befunde unserer in drei Altersgruppen

a) unter 25 Jahren, b) 25 - 45 Jahre, c) über 45 Jahre geordneten Probanden miteinander.

Eine statistische Kontrolle ... erbrachte keine signifikanten Unterschiede, die auf einen etwaigen Einfluß des Lebens-

alters auf die Leermastikation schließen lassen.

..... Schlußfolgerung aus den Ergebnissen. Die vorliegenden Ergebnisse, die erstmals an einer größeren Gruppe von Menschen ermittelt worden sind, erlauben eine Reihe von Schlußfolgerungen, die für den Zahnarzt und dessen therapeutisches Bemühen sicher nicht ohne Bedeutung sein dürften. Nachdem die zusammengefaßten Zahlenangaben statistisch ausgewertet wurden, um zu prüfen, inwieweit diese bedingt durch die Zusammensetzung der Stichproben repräsentativ für die Gesamtheit sind, waren die Ergebnisse, soweit sie durch den Untersuchungsgang und das Registriergerät beeinflußt werden, in ihrem Aussagewert einzuschränken. So konnten wir feststellen, daß fast alle Menschen eine mehr oder weniger intensive Leermastikation aufweisen. (Nur bei rund 1/10 aller untersuchten Personen war eine solche Aktion nicht nachzuweisen.) Bei der überwiegenden Mehrzahl findet sich eine nächtliche Tätigkeit der Kaumuskeln, die von nur wenigen bis zu einer registrierten Zahl von 259 Aktionen innerhalb einer Schlafzeit von 8 Stunden reicht. Damit konnte die Vermutung von manchen Autoren, besonders von KAROLYI bestätigt werden, die aufgrund klinischer Untersuchung der Mundhöhle behaupten, daß mehr oder weniger alle Patienten ihre Zähne auch neben der zweckgebundenen Nahrungszerkleinerung beanspruchen. Die rein gefühlsmäßige Vermutung, daß die in Frage stehenden Kaumuskelaaktionen in erster Linie mehr während des Halbschlafes, also während der Einschlafaktionen und gegen Morgen vor dem Erwachen auftreten, ließ sich nicht bestätigen. In Überwiegender Zahl fanden wir solche Muskeltätigkeit über die ganze Nacht verteilt. Die Angabe von MOLLER, nach der die "klonisch-horizontalen" Unterkieferbewegungen gegenüber den "tonisch-vertikalen" vorherrschen sollen, konnten wir nicht bestätigen. Das Verhältnis dieser beiden Erscheinungsformen der Leermastikation ist nach unseren Erhebungen etwa 1 : 1. In diesem Zusammenhang sei hervorgehoben, daß eine scharfe Trennung dieser Arten der Kieferbewegungen nicht möglich ist, da bei ein- und derselben Person in vielen Fäl-

len beide Formen vorkommen. Es kann sich allenfalls nur darum handeln, ob die eine oder andere Sonderform überwiegt. Es erwies sich, daß die Dauer der einzelnen Aktionen relativ kurz ist und meist unter 1 sec liegt, wenngleich auch gelegentlich Muskelspannungen bis zu einer Minute vorkommen. Hinsichtlich der Größe der produzierten Kraft stellten wir vorwiegend eine mittlere Größenordnung zwischen 10 und 20 kg fest. Selbstverständlich sind die kg-Werte auf Ansatz, Richtung und Flächenbezug zu untersuchen und zu beurteilen, doch war dieses nicht Aufgabe vorliegender Arbeit. Wenn auch hin und wieder einzelne Kräfte bis zu 42 kg imponierten, so ergibt sich doch im großen und ganzen, daß die Kaumuskeln während dieses von manchen Autoren als "Kaukraftmißbrauch" bezeichneten Geschehens auch im Schlaf unter Fortfall der sensiblen Kontrolle der Wurzelhaut keine wesentlich größeren Kräfte als bei der Nahrungszerkleinerung produzieren. Unter ganz bestimmten Umständen, die hier nicht näher erläutert werden können, ist durch die Leermastikation Zahnverschleiß (Abrasion) möglich. Aus der in der relativ langen Zeit von acht Stunden beobachteten geringen Zahl der Kontraktionen und in Anbetracht der Größenordnung der registrierten keineswegs übermäßig großen Kräfte kann geschlossen werden, daß das Ausmaß einer eventuellen Abrasion der Zähne nicht allein abhängig sein kann von der Größe des Kraftaufwandes und der Zahl der Bewegungen, mit der die Zähne gegeneinander gerieben werden. Dabei kommt es vor, daß die Reibebewegungen der Zähne aneinander unter gewissen Konstellationen ablaufen, die dazu führen, daß die Zähne in Schwingungen geraten, die unter Mitbeteiligung der Schädelresonanz hörbar werden können (Zähneknirschen). Irgendwelche Zusammenhänge zwischen Lebensalter der Versuchspersonen und Ausmaß der Leermastikation sind nicht evident. Fast alle Probanden in der Altersgruppe über 45 Jahre trugen Zahnersatz in Form von Brücken oder herausnehmbaren Teil- bzw. Vollprothesen. Ein Vergleich der Leermastikation dieser Versuchs-

personen mit der der Altersgruppen unter 25 Jahren und der entsprechenden zwischen 25 und 45 Jahren, unter denen sich keine Prothesenträger fanden, ließ nicht erkennen, daß die Existenz von Zahnersatz zu einer Änderung des Ausmaßes und der Intensität der Leermastikation geführt hat."

Auf die Zusammenhänge zwischen Kaumuskeltätigkeit und Zahnabrieb ging KRAFT 1961 ein (27). Er stellte fest: "Erkennt man als Ursache des markanten Zahnverschleißes im wesentlichen eine abwegige, in erster Linie unkontrollierbare - da während des Schlafes wirksame - Kaumuskeltätigkeit, so ergibt sich in diesen Fällen zwingend die Notwendigkeit zahnärztlicher Behandlung: 1. Schutz der Kauflächen und Parodontien durch Knirschersch- bzw. Presserschienen während des Schlafes; 2. herausnehmbarer partieller Zahnersatz ist auch nachts zu tragen, damit die Zahnreihe zu einem Block zusammengeschlossen wird und nicht Zähne oder Zahngruppen isoliert hebelnden Beanspruchungen ausgesetzt sind (bei stärkerer Abasion ist es zweckmäßiger, den Zusammenschluß der Zahngruppen durch eine Knirscherschiene vorzunehmen); 3. zahnlose Patienten sollen auch während des Schlafes ihre Prothesen nicht entfernen, damit der Unterkiefer abgestützt und das Kiefergelenk nicht an den Grenzen seiner Anpassungsfähigkeit überfordert wird."

BREWER und HUDSON bauten in totale Prothesen elektronische Vorrichtungen ein, um Aussagen machen zu können über die Zahnkontakte bei Funktion und Parafunktion, ohne die jeweiligen Kaukräfte zu messen (5). Aus der Zahl dieser Kaukontakte lassen sich aber wiederum Rückschlüsse ziehen auf die Belastung der Zähne: "JANKELSON (1953), YURKSTAS und EMERSON (1954) und ANDERSON und PICTON (1957) untersuchten die Zahnkontakte während des Kauens, indem sie Metallkontakte in die Zähne einbauten und Drähte aus dem Munde heraus zu Aufzeichnungsgeräten führten. JANKELSON fand, daß während der Kaufunktion keine oder nur ganz leichte direkte Berührungen der Antagonisten auftraten und daß erst beim Schluckakt ein starker Kontakt entstand. YURKSTAS und EMERSON fanden beträcht-

liche Zahnkontakte auf der Arbeitsseite und fast 100 %ige Kontakte auf der Balanceseite. ANDERSON und PICTON fanden, daß die Zähne bei den meisten Personen während mehr als des halben Kau-Strichs auf der Balanceseite in Kontakt kamen.

Diese sich widersprechenden Untersuchungsergebnisse veranlaßten uns, das Problem mit neuen Hilfsmitteln zu untersuchen. Wir verwendeten Miniatursender, wie sie zur Übermittlung des Herzschlages von Mäusen während eines Weltraumfluges gebraucht werden, dazu ein modifiziertes Hör-Hilfsgesetz zur Verstärkung und eine Vorrichtung zur Aufzeichnung der Signale sowie eine modifizierte Taschenuhr als zählendes Instrument.

Erste Untersuchungen. Bis jetzt wurden die neuen Vorrichtungen nur an zwei Patienten (Träger totaler Prothesen) erprobt. Die Prothesen der Patienten wurden dubliert. Für die neuen Prothesen wurden die Kauflächen der Backenzähne zusammenhängend aus Gold gegossen. Die Teile des Senders wurden so eingebaut, daß nur bei gleichzeitigem bilateralem Kontakt ein Signal gegeben wurde. Bei Patient A zeigte die Zähleruhr am ersten Tag über 1500 nicht-mastikatorische Kontakte (Parafunktionen) pro Stunde. Im Laufe der Zeit verringerte sich die Zahl der Parafunktionen auf 150 Kontakte pro Stunde (im Wachzustand).

Die Kontakte beim Kauen verschiedener Nahrungsmittel wurden mit dem registrierenden Oszilloskop beobachtet. Beim Kauen eines "Hamburger"-Sandwiches gebrauchte der Patient 178 Kau-Striche und zeigte dabei 42 Zahnkontakte, wobei 17 davon beim Schlucken entstanden. Bei dem Patienten B wurden Abänderungen der Versuchsanordnung getestet:

1. Vollständige bilaterale Balance. Bilaterale Kontakte für Signal notwendig. Ergebnis: 200 Kaustriche = 200 Kontakte.
2. Vollständige bilaterale Balance. Signal nur bei zentrischer Okklusion. Bilaterale Kontakte für Signal notwendig. Ergebnis: 200 Kaustriche = 100 Kontakte.
3. Vollständige bilaterale Balance. Signal nur von den Höcker-
spitzen. Bilaterale Kontakte für Signal notwendig. Ergebnis:
200 Kaustriche = 150 Kontakte.

4. Vollständige bilaterale Balance. Signal nur von der linken Seite. Kauen auf der rechten Seite. Ergebnis: 200 Kaustriche = 236 Kontakte a.d. Balances.
 5. Vollständige bilaterale Balance. Signal nur von der linken Seite. Kauen auf der linken Seite. Ergebnis: 200 Kaustriche = 138 Kontakte auf der Arbeitsseite.
 6. Vorzeitige Kontakte auf der Balanceseite. Signal nur von der linken Seite. Kauen auf der rechten Seite. Ergebnis: 250 Kaustriche = 300 Kontakte auf der Arbeitsseite.
 7. Vorzeitige Kontakte auf der Balanceseite. Signal nur von der linken Seite. Kauen auf der linken Seite. Ergebnis: 250 Kaustriche = 50 Kontakte auf der Arbeitsseite.
 8. Höckerlose Zähne. Bilateraler Kontakt für Signal notwendig. Ergebnis: 200 Kaustriche = 200 Kontakte.
- Beim Kauen von Salzmandeln entstanden überhaupt keine Kontakte. Während einer Beobachtungszeit von mehreren Monaten zeigte der Patient im Durchschnitt: 600 - 800 Kontakte während einer Mahlzeit, 150 parafunktionelle Kontakte pro Stunde wachend, 40 parafunktionelle Kontakte pro Stunde schlafend. Es gab jedoch Schlafperioden, in denen der Patient sieben Stunden lang mehr als 1500 parafunktionelle Kontakte pro Stunde zeigte. Das bedeutet fast 2 Stunden vollen Kontakts in der Nacht. Solche Perioden schienen im Anschluß an einen "enttäuschenden" (frustrating) Tag aufzutreten."

3. Das Parodontium und seine Reaktionen auf einwirkende Kräfte

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Wirkung der Kräfte auf Zahn und Halteapparat ist die Kraftrichtung und der Kraftangriffspunkt. Dies resultiert aus den anatomischen und funktionellen Verhältnissen des Parodontiums, auf welche nun eingegangen werden soll.

SCHUMACHER (47) veröffentlichte 1962 hierzu eine grundlegende Arbeit, in der es u.a. heißt: "Unter Zahnbett, bzw. die hierfür gebräuchlichen Begriffe Paradentium oder Parodontium verstehen wir nach WESKI (1921) ein Gewebssystem, welches den Zahn mit dem Knochen elastisch federnd verbindet. Zum

Paradentium gehören die parodontalen Gewebsgruppen, Periondium, Gingiva, Zement und Alveolarknochen. Aufgrund ihrer gemeinsamen Leistungen bilden sie ein funktionelles Gewebssystem, GOTTLIEB (1921), SICHER (1925), ORBAN (1926), WEINMANN (1927), HAUPL-LANG (1927), FENEIS (1949), ROHEN (1957, 1958) u.a., das sowohl in biologisch-physiologischer als auch in pathologisch-klinischer Hinsicht und - da es mit Ausnahme des gingivalen Epithels aus dem Mesoderm hervorgeht - auch genetisch als Einheit aufzufassen ist. Innerhalb der "funktionellen Gestalt" des maxillo-mandibulären Apparates (ROHEN) stellen die parodontalen Gewebe als Verankerungssystem des Zahnes ein wichtiges Glied in der Systemkette dar, deren gründliche Kenntnis für die Beurteilung normaler und pathologischer Vorgänge am Kauapparat von großer Bedeutung ist.

..... Periodontium. Die Verbindung zwischen Wurzelzement und Alveolarknochen geschieht durch einen Bandapparat, der den Zahn mit dem Kieferknochen gelenkig verbindet. Es handelt sich um einen echten syndesmatischen Verband, der dem Zahn geringe Bewegungen gestattet und entsprechend seiner funktionellen Beanspruchung strukturiert ist. Der Bandapparat besteht aus kollagenen Faserbündeln, die in der Ruhelage leicht gewellt sind und sich erst bei der Beanspruchung entwellen. Die Hauptbewegungen, die der Zahn durchführt, geschehen in axialer und seitlicher Richtung sowie um die eigene Achse im Sinne der Torsion. Der Verlauf der Fasern wurde vielfach beschrieben (J. TOMES (1861), BLACK (1897), COLLAND (1890), WALKHOFF (1901), FISCHER (1909), NOYES (1912), WETZEL (1914), WESKI (1921), HUBER (1929), W. MEYER (1929)... (1958), FENEIS (1952) u.a.), so daß er heute Bestandteil jedes entsprechenden Lehrbuches ist.

..... Alveolenknochen. Die Untersuchungen von WESKI (1921), MAC MILLAN (1926), KELLNER (1928), PETERSON (1932), BENNINGHOFF (1934) u.a. konnten unter Benutzung verschiedener Untersuchungsmethoden den Nachweis erbringen, daß sowohl die Verteilung und Dichtigkeit der Spongiosa als auch die Kompaktaarchitektur allein der funktionellen Beanspruchung unterliegt, eine Tatsache, die für die Funktionskieferorthopädie

von grundsätzlicher Bedeutung ist. Bälkchen und Querwände sind den Druck-, Zug- und Biegungseinrichtungen angepaßt.

..... Physiologie. Der Zahnhalteapparat hat im wesentlichen eine mechanisch-statische Aufgabe zu erfüllen. Er verankert den Zahn im Kiefer und überträgt den beim Kauakt auftretenden Druck - einschließlich Wangen-, Lippen-, Zungendruck - von der Zahnkrone über die Zahnwurzel auf den Kiefer. Wie bereits bei der Besprechung der Gewebe immer wieder hervorgehoben, finden wir den Funktionen angepaßte Strukturen, die so aufeinander abgestimmt sind, daß sie eine funktionelle Einheit bilden. Die Verbindung zwischen Zahn und Knochen ist eine gelenkige, so daß dem Zahn gewisse Bewegungen im Kiefer möglich sind. Die Verbindung des Zahnes mit dem Knochenrahmen geschieht mittels kollagener Fasern, die sich durch eine hohe Zugfestigkeit auszeichnen aber gleichzeitig durch ihre Entwellung dem Verband eine gewisse Elastizität verleihen. Die Zugfestigkeit der kollagenen Fasern läßt sich leicht veranschaulichen. Die Verlängerung eines kollagenen Faserbündels mit einem Querschnitt von 1 mm^2 und einer Länge von 1 mm bei einer Belastung mit 1 kg beträgt nach TRIEPEL (1922) $0,01 \text{ mm}$. Nach HAUPL-LANG (1927) beträgt die Dehnung der Wurzelhautfasern bei einer 25 mm langen Eckzahnwurzel mit etwa 200 mm^2 Flächenbesatz bei einer Belastung mit 100 kg $0,001 \text{ mm}$. Ein Wert, der praktisch vernachlässigt werden kann. Bei einer Zugfestigkeit der Sehne von rund 5 kg pro mm^2 - das ist etwa die Hälfte des kompakten Knochens - wurde das Periodontium des Eckzahnes einer Belastung von 1000 kg standhalten können, ein Wert, der selbst von Gebißathleten nie erreicht wird. Die mögliche Kraftentfaltung aller Kaumuskeln beträgt nach Untersuchungen an Präpariersaalmaterial im Durchschnitt 200 kg (SCHUMACHER, 1961). Da wir nach WUSTROW (1929) eine theoretisch mögliche von einer praktisch möglichen Kraft zu unterscheiden haben, muß letztere, wie Meßversuche am Lebenden bestätigen, kleiner sein. Beim Versuch einen möglichst hohen Kaudruck zu erzeugen, verhindert die Sensibilität der Wur-

zelhäute und des Zahnfleisches reflektorisch eine weitere Drucksteigerung. Der Druck, welcher den Zahn trifft, ist der Anteil der Kaukraft, der auf einen Quadratzentimeter der Zahnfläche entfällt. Trotz recht differenter Meßergebnisse mittels Gnathodynamometer von verschiedenen Forschern stimmen alle Ergebnisse darin überein, daß der auf den Zähnen lastende Druck im Molarenbereich am größten, im Prämolarenbereich kleiner und bei den Incisivi seinen kleinsten Wert erreicht. Nach HABER (1927) betragen die Werte der praktischen Kaudruckmessung im Molarenbereich 70 kg, im Prämolarenbereich 40 kg und bei den Schneidezähnen 25 kg. Zerlegt man nun die theoretisch mögliche Kraftentfaltung der Muskeln in ihre Komponenten, so würden für die reine Adduktion des Unterkiefers bei günstigen Winkelverhältnissen, d.h. bei geschlossenen Zahnreihen, durchschnittlich 156 kg erzeugt werden können, während die Horizontalkomponenten aller Muskeln etwa 118 kg betragen (SCHUMACHER). Der auf die Zahnkrone ausgeübte Kaudruck kann also am Zahnhalteapparat ohne Schwierigkeiten aufgefangen werden, selbst dann, wenn die theoretisch hier berechneten oder die praktisch gemessenen Werte eine Abrundung nach oben erfahren müßten. Durch die Aufhängung des Zahnes in einem Fasersystem wird der Kaudruck in einen auf die Alveolarwand wirkenden Zug verwandelt. Diese Tatsache ist insofern von großer Bedeutung, als dadurch eine Kompression des Periodontalinhalts verhindert wird, was z.B. am Foramen apicis dentis in kürzester Zeit verheerende Folgen nach sich ziehen würde. Außerdem wird eine Keilwirkung der Zähne im Kieferknochen vermieden. Da der Knochen letztlich gegen Zugwirkungen widerstandsfähiger ist als gegen Druckeinwirkungen, bei denen er leicht zu einer osteoklastischen Tätigkeit angeregt wird, sind in dieser Form der Befestigung alle erdenklichen Vorteile vereinigt. Eine besondere Bedeutung kommt dem Gefäßsystem des Periodontalspaltes zu. Durch Knäuelbildungen, zirkuläre Kapillarkränze sowie leiter-sprossenartige Kommunikationen einschließlich des Lymph-

kapillarsystems wird um die Wurzel ein Flüssigkeitspolster geschaffen, dem die Wirkung einer hydraulischen Bremse zukommt. Nach WEDL (1881), SCHWEITZER (1909), HXUPL (1931), W. MEYER (1932) u.a. sollen es im wesentlichen die stark gefüllten Gefäßknäuel sein, die beim Einpressen des Zahnes in die Alveole langsam entleert werden, wodurch die axiale Bewegung gedämpft wird, während sie sich beim Nachlassen des Druckes wieder füllen und den Zahn in okklusaler Richtung bewegen. Das Flüssigkeitspolster sorgt außerdem für eine gleichmäßige Druckverteilung auf die Alveolenwand, so daß ein hartes Anpressen vermieden wird. Die reichlich vorhandenen Gefäßanastomosen verhindern eine Unterbrechung des Blutumlaufes.

Die Bewegungen, die der Zahn in der Alveole ausführen kann, sind:

1. Axiale Bewegungen, im Sinne der apikalen Impressio-
nen, welche durch die *Fibrae alveolo-dentales obliquae inferiores* unter Mitwirkung der hydraulischen Bremse und der physiologischen Periodontalspaltbreite aufgefangen werden, sowie okklusaler Expression, welche durch den periodontalen Druck-Druck der Gefäße, Wellung der kollagenen Fasern zur Ruhelage - und von den *Fibrae alveolodentales obliquae superiores* und *Fibrae apicales* aufgefangen wird. Bei Hyperämie oder Fehlen eines Antagonisten tritt eine okklusale Verschiebung des Zahnes über die Kauebene ein.
2. Horizontale Kipp- oder Wackelbewegungen nach mesial-distal (geringer) bzw. oral-vestibulär (stärker), welche durch *Fibrae alveolodentales transversae-interdentales-apicales* aufgefangen werden.
3. Torsion um die Längsachse, welche durch die tangential Anordnung der *Fibrae alveolodentales obliquae et transversae* behindert wird.

Bei seitlicher Belastung, wie sie bei den Kaubewegungen in reichlichem Maße vorkommen, vollzieht sich eine Wackelbewegung, bei welcher der Zahn als zweiarmiger Hebel um

einen in der Mitte der klinischen Wurzel gelegenen Drehpunkt pendelt. Der Zahnspace ist hier zu seiner "biologischen Breite" verengt, während er an der Alveolarmündung und am Apex zur "physiologischen Breite" erweitert ist. Wie bereits im morphologischen Teil erwähnt, ist die Periodontalspaltenbreite aufgrund der längeren oberen Wurzelhälfte größer als am Alveolengrund. Da mit der Kippbewegung in den meisten Fällen aber gleichzeitig eine axiale Verschiebung verbunden ist, wird der Drehpunkt apikalwärts verlagert, weshalb WESKI den durch die Wurzelfasern in der Alveole aufgehängten Zahn auch als "schwingendes System" bezeichnet. Nach den Ausführungen von HXUPL-LANG müssen wir die vertikale Druckeinwirkung auf den Zahn als am günstigsten ansehen, da hierbei der größte Teil der Periodontalfasern angespannt und somit der Zug auf eine relativ große Fläche verteilt wird. Hierbei spielen die Wurzellänge, Stellung der Zähne sowie vorhandene Zahnücken natürlich eine bedeutsame Rolle."

4. Verformung des Zahnes durch einwirkende Kräfte

Wie nun reagiert also der Zahn und sein Halteapparat auf die verschiedenen Belastungen. Der Zahn wird sich zunächst einmal deformieren. KÜRBER hat hier mehrfach Untersuchungen angestellt. 1962 schreibt er (26): "... Untersuchungen und Messungen, über die elastische Deformierung menschlicher Zähne, die physiologischen Belastungsgrößen unterworfen sind, wurden von KÜRBER durchgeführt. Er wies die Biegung des Zahnes nach, wenn dieser unter senkrecht zur Zahnachse wirkenden Kräften der elastischen Deformation seiner Hartschubstanz ausgesetzt ist. Die vom Zahn aufgenommenen Kräfte werden als Teilkomponenten in bestimmten Richtungen auf das Parodontium und über dieses hinaus wieder auf den knöchernen Kiefer übertragen. Eine Kraftübertragung führt jedoch zu einer Deformation des übertragenden "starken Körpers". Die elastische Deformation

des Zahnes kann bei seiner Belastung auf zwei Arten erfolgen: im ersten Falle wird er durch die einwirkende Kraft deformiert, sobald die zuvor gewellt angeordneten Periodontalfaserbündel gestrafft worden sind. Im anderen Falle erfolgt die Deformation ohne nennenswerte alveoläre Bewegung durch einen kurzzeitigen Impuls. So konnte bewiesen werden, daß ein Zahn nicht nur unter horizontalen Kaukraftkomponenten gebogen, sondern in gleicher Weise bei axialer Kraftrichtung auch gestaucht wird. Ebenso können tangierende Kräfte eine Torsion der Hartschubstanz verursachen. Setzt die Deformationskraft plötzlich aus, so wird der elastisch deformierte Zahn infolge seiner Elastizität seine ursprüngliche Form wieder annehmen. Diese Rückformung kann als Deformations-schwingung erfolgen. Wenn verschieden gerichtete Kräfte wirken, entstehen beliebige Deformationsformen, die für uns aber nicht definierbar sind. Die Rückstell-schwin-gung der Zahnhartschubstanz kann deshalb den kaufunktionel-len Kräfte-richtungen entsprechend in allen Richtungen er-folgen. In Abhängigkeit von der Artikulation und Okklus-ion bestehen zweifellos bei jedem Zahn gewisse Haupt-schwingungsrichtungen. Im Rahmen dieser Untersuchung kann nicht erörtert werden, ob diese als funktionelle Reize die Orientierung der Parodontalfaserbündel beein-flussen. Wir wollen vielmehr zur Analyse der Biegeschwin-gungsvorgänge am menschlichen Zahn eine physikalisch de-finierte Schwingungsform betrachten, die freie horizon-tale Biegeschwingung in extra-intraoraler Richtung. Zum Nachweis und zur Registrierung der Biegeschwingungen menschlicher Zähne erwies sich das Verfahren der elektro-nischen Messung nicht elektrischer Größen als sehr zweck-mäßig. Bei diesen Verfahren wird die zu messende mecha-nische Größe, in unserem Falle die Biegeschwingung eines Zahnes in einem Meßwertwandler, in eine der mechanischen

Größe proportional elektrische Größe umgeformt. Als Meßwertwandler verwendeten wir Miniaturdehnungsmeßstreifen und induktive, tastlose Aufnehmer.

..... Das erste Meßbeispiel zeigt einen oberen mittleren Schneidezahn (1,45 g Gewicht, 20 mm Länge), der mit seiner Wurzelspitze starr an eine Masse gekoppelt und in freie Eigenschwingungen versetzt worden ist. Das Ergebnis ist das klassische Bild einer gedämpften Schwingung. Die abwechselnd positiven und negativen Amplituden dieser gedämpften Schwingung verlaufen analog den Dehnungen und Stauchungen der Zahnoberfläche. Da in dieser Versuchsanordnung die äußere Dämpfung relativ gering ist, verläuft die Hüllkurve entsprechend flach.

..... Der Zahn ist im Parodontium nicht fest gekoppelt, sondern von Gewebe umgeben, das einen geringeren Elastizitätsmodul besitzt als er selbst. Somit schien es denkbar, daß ein "harter, starrer" Zahn bei einwirkender Kraft in seine weichgewebige Umgebung ausweicht, ohne selbst wesentlich elastisch deformiert zu werden. Wir betteten einen Versuchszahn bis zu seinem Kronenrand in gummielastische Masse ein. Auch in diesem Falle zeigte er deutlich meßbare Biegeschwingungen. Die Frequenz betrug hier 1000 Hz. In weiteren Versuchsreihen untersuchten wir die Schwingungen an vitalen Zähnen.

..... Dieses Meßbeispiel ist daher ein Beweis für das Auftreten von Deformationsschwingungen am menschlichen Zahn. Eindrucksvoll ist die sehr stark gedämpfte Eigenschwingung, die neben der Erregeramplitude nur ein Oberschwingen zeigt. Die biophysikalischen Eigenschaften der funktionell orientierten periodontalen Gewebsanteile und vor allem der hydrodynamische Wirkungsmechanismus des parodontalen Gefäßsystems sind die Ursache für diese auffällig starke Dämpfung -
 $f = 1450 \text{ Hz}$

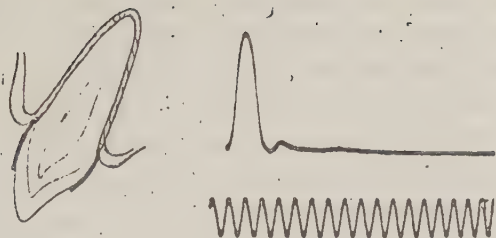


Abb. 8: Das Schwingungsbild eines oberen vitalen Schneidezahnes.

.... Die bisherige Betrachtungsweise über Zahnschwingung, nach welcher ein Zahn in den "periodontalen Federelementen" um einen gedachten Kippdrehpunkt Drehschwingungen ausführt, kann nach unseren Untersuchungen nicht aufrechterhalten werden. Die vorliegenden Meßergebnisse beweisen die eingangs aufgestellte Hypothese, daß Schwingungen menschlicher Zähne in der Größenordnung ihrer Eigenfrequenz reine Deformations- bzw. Biegeschwingungen sind."

In einem Artikel "Die elastische Deformierung menschlicher Zähne" schreibt KÜRBER auch 1962 (25): "... Zur Bewertung der biologischen Anpassungsfähigkeit der oralen Gewebe gegenüber verschiedenen Prothesenkonstruktionen müssen wir somit die funktionsbedingte Formänderung aller beteiligten Anteile kennen und deren Größen zueinander in Beziehung bringen. Wie verhält sich nun der Zahn selbst gegenüber den auf ihn einwirkenden Kräften?

Schon bei Betrachtung der Größenverhältnisse zwischen Parodontalspalt einerseits und mittlerem Zahnwurzelquerschnitt andererseits steht zu erwarten, daß zumindest bei hoher Kaulast am Zahn ein Biegemoment entsteht. Denn die vom Zahn aufgenommenen Kräfte werden als Teilkomponenten in bestimmten Richtungen auf das Parodontium und über dieses wieder auf den knöchernen Kiefer übertragen. Nun führt aber eine Kraftübertragung immer zu einer Deformierung des übertragenden starren Körpers. Es ist deshalb die Frage,

ob die elastische Deformierung eines Zahnes unter Kau-
last von einer Größenordnung ist, daß wir ihr noch eine
Mitbeteiligung an der funktionellen Anpassung zwischen
Gewebe und partieller Prothese zusprechen können. In
diesem Falle wollen wir die elastische Deformierung zu-
sammen mit der Bewegung des Zahnes im Parodontium als
statische Zahnbeweglichkeit benennen. Im anderen Falle
wäre sie bei vergleichenden intraoralen Messungen als
meßbare Größe zu vernachlässigen. In der vorliegenden
Arbeit wurde daher die Aufgabe gestellt, die Größenord-
nung der statischen Deformierung menschlicher Schneide-
zähne unter Druck- und Biegebelastung im Experiment zu
ermitteln.

.... Besprechung der Ergebnisse. Unsere Untersuchungen
bestätigen somit die elastische Deformierung unter nor-
mal bemessenen Belastungen. Darunter verstehen wir Kräf-
te, wie sie beim Kauakt als Teilkomponenten oder als Re-
sultierende in der entsprechenden Richtung auf den Zahn
einwirken können. So erfolgte bei unseren Messungen die
mechanische Beanspruchung in Richtung der Zahnachse von
0 bis 10 kg und in einem zweiten Durchgang zur Bestim-
mung extremer Werte von 0 - 10 kg. Der stärkste in hori-
zontaler Richtung angewandte Druck betrug dagegen ledig-
lich 500 Gramm. Die elastische Deformierung eines jeden
Körpers hängt von dessen Dimensionen, Form und Gestalt
ab. Diese variiert jedoch bei topographisch gleichen
Zähnen verschiedener Individuen erheblich. Entsprechend
der eingangs dargelegten Problemstellung, die Größen-
ordnung einer möglichen Deformation zu bestimmen, be-
schränkten wir uns dehsalb auf die Meßwerte mittelmäßig
dimensionierter Einzelzähne typischer anatomischer Ge-
stalt. Hierbei fanden wir die Beziehung zwischen der
elastischen Deformierung und der Deformationskraft inner-
halb der beim Kauvorgang möglichen Belastungsgrenzen als
lineare Funktion.

In unseren Versuchsreihen fanden wir ferner charakteristische Unterschiede der Meßwerte zwischen avitalen und bis vor Meßbeginn vitalen Zähnen. Ähnliche Unterscheidungen konnten wir bei Zähnen jugendlicher und alter Individuen beobachten. Über die Elastizität bzw. elastische Deformierung ganzer Zähne als Funktion des Zustandes der Zahnhartsubstanzen werden wir jedoch an anderer Stelle berichten. Wir können somit feststellen, daß eine gewisse Nachgiebigkeit des Zahnes selbst gegenüber den auf ihn einwirkenden Kräften besteht. Diese elastische Deformierung kann bei vergleichenden statistischen in-vivo-Untersuchungen in bestimmten Meßbereichen nicht vernachlässigt werden."

Auf diese Arbeit aufbauend veröffentlichte KÜRBER 1963 einen Artikel (23), in dem er folgendes ausführt: "Wenn eine Kraft auf einen Festkörper einwirkt, wird dieser in seiner Form verändert. Dieser Vorgang ist allerdings in vielen Fällen so gering, daß er der oberflächlichen Beobachtung leicht entgehen kann. Die Kaukraft wird in Beschleunigung bzw. Bewegung umgesetzt. Die Größe der Verformung hängt neben dem elastischen Verhalten des Körpers weitgehend von seiner Verbindung zur Umgebung ab, so kann er bei extrem loser Anordnung ohne nennenswerte Verformung bewegt werden. Wenn die Verbindung mit der Umgebung fest ist, also keine Bewegung erlaubt - ein Stab beispielsweise, der an einem Ende starr mit einer festen Masse verbunden ist - so erfolgt bei gleicher Kraftgröße eine entsprechende Verformung. Kraft ruft Bewegung oder Verformung hervor. Der menschliche Zahn überträgt die an seiner Krone angreifenden Kräfte über die Periodontalfaserbündel auf die alveoläre Knochengewebskompakta. Die bisher gebräuchliche Annahme, daß der Zahn starr und unbeweglich sei, mag zwar klinisch seine Berechtigung behalten. Für eine exakte Analyse der Parodontalfunktion jedoch, wie sie beispielsweise zu einer meßtechnischen Registrierung von Mikrotraumen unbedingt notwendig ist, müssen wir voraussetzen, daß es im menschlichen Organis-

mus keine absolut starren Substanzen gibt. Es bleibt vielmehr eine Frage der Größenordnungen elastischer Verformungen aller im parodontalen Funktionsmechanismus eingeschalteten Gewebe, inwieweit sich die Zahnhartsubstanz funktionell an der physiologischen Anpassungsbeweglichkeit des Zahnes beteiligt.

..... In der vorliegenden Arbeit wollen wir die Größenordnung der elastischen Verformung vitaler menschlicher Schneidezähne als Funktionsanteil an der physiologischen Zahnbeweglichkeit ermitteln und die elastische Verformung der Zahnhartsubstanzen aus der Parodontalfunktion heraus untersuchen und selektiv messen

..... Besprechung der Ergebnisse. Ein Vergleich der Meßergebnisse intravitaler Verformungsmessung menschlicher Zähne mit den Biegemessungen an extrahierten Zähnen ergibt, daß die Verformung innerhalb des Parodontiums erheblich geringer ist als bei starr befestigten extrahierten Zähnen. Der Zahn ist als hochelastischer Festkörper relativ biegsam in einem System zugfester Bänder befestigt. Durch die gewellte Verlaufsform ermöglichen sie dem Zahn bereits bei geringer Kraftwirkung eine sehr leichte Anpassungsbeweglichkeit um die Ruhelage. Diese "Initialbeschleunigung" sehen wir als sinnvolle Einrichtung der Natur zur Abwehr schneller Stöße und unphysiologischer Impulsspitzen. Wirkt nun eine Horizontalkraft ein, z.B. an der Kronenspitze, so wird der Zahn aus der Ruhelage heraus beschleunigt: er bewegt sich. Die auftreffende Energie der angreifenden Kraft äußert sich am Zahn als Beschleunigung. Danach werden die kollagenen Bänder nach Durchlaufen dieses Initialweges von apical aufwärts jeweils auf der Zugseite bis zum Drehpunkt hin entwellt und immer mehr gespannt. Ist schließlich die Hauptmasse der Bänder entwellt, so ist die Bewegung des Zahnes aufgefangen und in eine Deformation aller parodontalen Gewebsanteile übergegangen. Durch diese "progressive Entwellung" und die fortschreitende Beanspruchung der Ränder zum Drehpunkt hin verläuft der Ober-

gang von der rein geweblichen Anpassungsbewegung zur allgemeinen Belastungsverformung fließend. Die Natur, oder in diesem Falle das funktionell beanspruchte Gewebe, macht keine Knickpunkte. Die "progressive Entwellung" zum Drehpunkt hin erklärt auch weiter, daß der vitale Zahn im Parodontium - wir erwähnten es oben - einschließlich seiner Bänderbeweglichkeit keinen größeren Anpassungsweg zurücklegt, als er bei gleichgroßer Horizontalbelastung rein substanzgebunden durchläuft. Er kann sich nur im Rahmen seiner Bändereinspannung bewegen. Damit können wir sagen: Bei jeder Anpassungsbeweglichkeit besteht eine funktionelle Wechselbeziehung zwischen elastischer Verformung des Zahnes und der elastischen Reaktion der periodontalen Bänder seines Parodontiums, also eine Korrelation zwischen Verformung und reiner Gewebsbeweglichkeit.

Diese Wechselbeziehung gilt vorwiegend dann, wenn der Zahn seine leichte Initialbeweglichkeit aus der Ruhelage heraus durchlaufen hat; sie wird um so auffälliger, je stärker die Belastungseinwirkung wird, je mehr also die physiologische Zahnbeweglichkeit in Richtung auf die Verformung hin verschoben ist. Der elastisch verformbare Zahn bildet mit seinen kollagenen Bändersystem ein funktionell untrennbares Gewebssystem, das sein Gepräge dadurch erhält, daß Verformungsgradient und Verformungsbetrag des "biegsamen Zahnes" durch die räumliche Befestigung seiner Bänder, deren Verlauf, Anzahl und biophysikalischen Zustand definiert sind."

Eine andere Untersuchungsmethode, um herauszufinden, welche Veränderungen im Zahn selbst stattfinden, wenn er belastet wird, bedient sich der Spannungsoptik. Grundlagen hierzu vermittelt u.a. WOLF (67) oder FÜPPL und MÜNCH (10). KLÜTZER (21) verwendete dieses Verfahren 1964 als dreidimensionale spannungsoptische Methode (Gefrierverfahren) zur Sichtbarmachung schwacher Stellen an totalen Prothesen. Anhand von drei Beispielen zeigte er,

daß schon geringe, den Spannungsverlauf berücksichtigende Formveränderungen oder Verstärkungen die Festigkeit der Prothesen beträchtlich erhöhen. JOURDANT, JUNG und PRIMUS führten 1968 spannungs-optische Untersuchungen an Brückenmodellen durch (17). Ihre Untersuchungen sollten durch dreidimensionale spannungsoptische Analysen klären, wo bei Einstoffbrücken Zonen starker Spannungsdifferenzen auftreten und auf welche Weise durch Variation der äußeren oder der inneren Oberfläche die Gestalt der Brücke und damit die Belastbarkeit verbessert werden kann. MOTSCH und GAUSS untersuchten 1969 Frontzahnbrückenanker mit Hilfe der Spannungsoptik (37). Sie schrieben u.a.: "Frontzahnkronen, die zunächst einwandfrei erscheinen, zeigen mit der Zeit in vielen Fällen mangelhaften Randschluß, vor allem, wenn sie als Brückenanker dienen. Die marginale Gingiva ist entzündlich verändert und retrahiert, der Kronenrand liegt frei, und die Zahnhartsubstanz ist in diesem Bereich defekt bzw. kariös. Falls keine behandlingstechnischen Fehler vorliegen, wird dieser Prozeß durch folgende Faktoren ausgelöst:

1. Im Zahnhalsbereich ist der Schmelz oft minderwertig, d.h. weniger mineralisiert (GUSTAFSON 1959) und weniger hart (AVERY 1962).
2. Die elastische Verformung eines belasteten Zahnes ist im Zahnhalsbereich besonders groß (BECK, 1956; KÜRBER, K.H., 1963).
3. Statisch ungünstig konstruierte Brückenanker erzeugen vor allem im Zahnhalsbereich eine abnorme Beanspruchung der Zahnhartsubstanz.

Der erste Faktor, die qualitative Minderwertigkeit des Schmelzes im Zahnhalsbereich, wird im allgemeinen durch eine ausreichende und genaue Stumpfpräparation ausgeschaltet. Das Zusammentreffen der beiden mechanischen Faktoren spielt aber eine entscheidende Rolle. Die elastische Verformung eines Zahnes kann eindeutig in vivo nachgewiesen

werden (KÜRBER, K.H., 1962); (KAKUDO et. al., 1968). Eine axiale Belastung des Zahnes bewirkt eine Stauchung, wobei im Zahnhalsbereich extreme Zugspannungen entstehen. Die Zugfestigkeit der Zahnhartsubstanzen ist aber außerordentlich gering. Auch in der Füllungstherapie wurde auf diese besonderen statischen Verhältnisse im Zahnhalsbereich hingewiesen (BLACK; DRIAK; JUNG, 1955; BOWEN und RODRIQUEZ, 1962; STANFORD et. al., 1960; u.a.). JUNG äußerte sogar den Verdacht, daß damit auch der keilförmige Defekt am Zahnhals erklärt werden könne. Der Frontzahn als Brückenpfeiler ist einem komplizierten Kräftespiel ausgesetzt. Die verschiedenen möglichen Konstruktionen einer Frontzahnbrücke gaben oft Anlaß zu theoretisch-statischen Überlegungen. Das dreidimensionale spannungsoptische Modellexperiment erlaubt, diese Fragen genau zu untersuchen. Bislang wurde mit dieser Methode nur die Statik der Frontzahnkronen- bzw. Brückenfremkörper selbst untersucht: Zweidimensionale (RUMETSCH, 1964; RUMETSCH, SCHREIBER und MOTSCH, 1965) und dreidimensionale (WALTON und LEVEN, 1955; LEHMAN und HAMPSON, 1962) spannungsoptische Untersuchungen zur Statik der Jacketkrone; dreidimensionale Untersuchungen über die Beanspruchung der Frontzahnbrücke aus Kunststoff (JOURDANT, JUNG und PRIMUS, 1968).

Die Problematik des dreidimensionalen spannungsoptischen Zahnmodelles als Brückenanker.

Die dreidimensionale spannungsoptische Untersuchung der Spannungsverteilung im Pfeilerzahn selbst stellte uns zunächst vor nahezu unlösbare Probleme. Damit eine gültige und Übertragbare Aussage gewonnen werden kann, muß das Modell des Pfeilerzahnes einige wichtige festigkeitstheoretische und statische Bedingungen erfüllen. Das Modell muß zunächst im Prinzip die äußere Form und den Pulpenhohlraum eines natürlichen Zahnes räumlich darstellen. Die natürlichen, funktionell-statischen Verhältnisse verlangen aber darüber hinaus, daß der Modellzahn durch ein Fadensystem in seinem Widerlager (Modellalveole) verankert

ist und so die parodontale Verankerung imitiert. Spannungsoptische Untersuchungen, bei denen der Modellzahn lediglich auf einer festen Unterlage abgestützt ist (MIYAUCHI, 1959; JOHNSON et al., 1968) oder gar als Keil in sein Widerlager eingeklemmt wird, müssen angezweifelt werden. Die größte Schwierigkeit bereitet aber das festigkeitstheoretisch wichtige Gesetz, daß die quantitative und u.U. auch qualitative Spannungsverteilung in einem belasteten Mehrstoffkörper von den E-Modulen der einzelnen Stoffkomponenten abhängt. Dieses Gesetz verlangt in unserem Falle, daß die natürliche Relation der E-Module von Brückenanker, Schmelz und Dentin auch im Modell berücksichtigt wird.

..... Versuchsaufbau. Die Modellzähne wurden aus Araldit-B gegossen und ihre Verankerung im Widerlager durch ein System dünner Drähte nachgeahmt. Die Herstellung derartiger Zahnmodelle sowie ein neues Verfahren der mechanischen Analyse innerer Spannungen wird in einer späteren Abhandlung beschrieben. Die Modellzähne wurden für verschiedene Brückenanker präpariert und die Brücken aus Kadmium gegossen. Als Anker wählten wir die Dreiviertelkrone, die Stufen - Gußkrone, die stufenlose Gußkrone und das Pinledge. Die Gußkronen sind als Beispiel einer Verblendkrone gedacht. Diese Anker wurden mit dünnflüssiger Silikonmasse auf die Modellzähne aufgepaßt; damit war eine flächenhafte Kraftübertragung gewährleistet. Der Gegenanker wurde als einfache Stütze angelegt. Die Brückenmodelle wurden dann im Wärmeschrank auf 145°C erhitzt und in einer speziellen Belastungsvorrichtung beansprucht. Nach programmierter Abkühlung wurden die Brückenteile entfernt und aus den Modellzähnen je zwei Scheiben herausgesägt. Die in diesen Schnitten eingefrorenen Spannungen wurden dann in zirkular polarisiertem Licht spannungsoptisch analysiert.

Ergebnisse: Die Analyse der Spannungsverteilung in den einzelnen Pfeilerzähnen zeigt signifikante Unterschiede. Wie erwartet, wird vor allem der Zahnhalsbereich des Pfeilerzahnes durch den Brückenanker sehr stark beansprucht.

Die Pulpainnenwand wird aber in keinem Falle nennenswert verformt bzw. beansprucht.

1. Stufenlose Gußkrone. Sie beansprucht den Pfeilerzahn am geringsten, wobei der Kronenrand den labialen und palatinalen Zahnhalsbereich geringfügig mehr beansprucht ($n = 2$) als den mesialen und distalen.

2. Stufen-Gußkrone. Sie verursacht an der zervikalen Stufe des Pfeilers eine größere Beanspruchung. Die Beanspruchung der mesialen, dem Brückensteg zugekehrten Stufe ist am größten ($n = 6$), der der distalen am geringsten ($n = 2$). Auch die Beanspruchung der labialen und palatinalen Pfeilerstufe ist beachtlich ($n = 4$).

3. Dreiviertelkrone. Durch sie wird der Pfeilerzahn speziell im Bereich der zervikalen Abstützung der Kronennut (approximale Rille) sehr stark beansprucht. Die Beanspruchung der mesialen, dem Brückensteg zugekehrten Stufe ist am größten ($n = 6$), die der distalen geringer ($n = 5$). Die palatinale Fläche des Pfeilerzahnes wird nur wenig beansprucht ($n = 1$ bzw. 2).

4. Pinledge. Dieser Brückenanker ist statisch am ungünstigsten. Es zeigen sich beachtliche Spannungsspitzen in der Umgebung der Stiftbohrungen ($n = 7 - 8$). Um die Beanspruchung des Pfeilerzahnes besser zu verteilen, sollte diese Art der Präparation modifiziert werden, z.B. durch eine zusätzlich approximale Nut-Feder-Retention (Rille) oder durch eine zusätzliche zervikale Stufe"

1970 gaben MOTSCH, MOSSIG und VETTER ein Verfahren an zur Herstellung dreidimensionaler spannungsoptischer Zahnmodelle und beschrieben deren Anwendung zur Untersuchung statischer Probleme (36). Es wird die Herstellung von verschiedenen Zahnmodellen aus Kunststoff (verschiedene E-Moduln mit verschiedenem Härterzusatz) dargelegt und die Analyse der Spannungen. Diese werden an der Oberfläche mit der "Schiefen Durchstrahlung" und im Innern mit dem Kugeldeformationsverfahren (Kugeln mit 1 mm Durchmesser werden eingegossen und ihre Deformation unter dem

Mikroskop gemessen. Nach Eichung erfolgt dann die Ermittlung der effektiven Spannungen).

5. Bewegung des Zahnes durch einwirkende Kräfte

Wesentlich wichtiger als die vor beschriebenen Formveränderungen des belasteten Zahnes und die in ihm auftretenden Spannungen ist für vorliegende Untersuchung die Bewegung des Zahnes in der Alveole. Schon 1928 veröffentlichte SCHWARZ eine Arbeit mit dem Thema: "Mathematische Überprüfung des Verhaltens belasteter Zähne" (48). Hier schreibt er u.a.: "Um die Frage nach dem Verhalten belasteter Zähne zu klären, wurde in der Mitteilung "Über die Bewegungen belasteter Zähne" eine Reihe von Experimenten geschildert - und zwar handelt es sich um Versuche an Phantomen, um solche mit plastischem Material und um einen Tierversuch - die alle das gleiche Ergebnis zeigten: Die kippenden Bewegungen eines schräg oder seitlich belasteten Zahnes in seiner Alveole erfolgen um eine Drehungsachse, die etwas unterhalb der Mitte der klinischen Wurzel liegt. Hierbei erwies sich der Ort, an dem die Kraft im Bereich der Krone angreift, als praktisch ziemlich bedeutungslos für die Lage der Achse. Diese Obereinstimmung im Ergebnis der verschiedenartigen einfachen Versuche schien mir von so unmittelbarer Überzeugungskraft zu sein, daß ich es zur Vermeidung von Langatmigkeit unterließ, die augenfälligen Resultate auch noch durch mathematische Berechnungen zu erhärten. Nachträglich zeigte sich aber, daß die mathematische Durchrechnung der Versuchsergebnisse einen weiteren Beitrag zur Klärung der Frage liefern könne.

.... Kollege Dr. BORSCHKE machte mich darauf aufmerksam, daß die Anwendung der Hebelgesetze, bezogen auf die Drehungsachse der Zahnwurzel, unzulässig ist. Denn die Achse ist in diesem Fall die ruhigste Stelle, nicht aber das Hypomochlion des Kräftesystems. Der am Apex herrschende Druck könne nie so groß werden, wie der in der koronalen Wurzelhälfte. Diese Feststellung BORSCHKES, die mir

einleuchtete und die mir für das Verständnis der physikalischen Vorgänge bei seitlicher oder schräger Belastung eines Zahnes wesentlich zu sein scheint, veranlaßte mich, meine Versuchsergebnisse auch mathematisch überprüfen zu lassen. Der in der Alveole suspendierte Zahn kann physikalisch als starrer Stab aufgefaßt werden, der in einem elastisch nachgiebigen, gegen Dislokationen allseits ungefähr gleiche Widerstand bietenden Medium steckt und an seinem freien Ende seitlich belastet wird. Die Berechnung der Druck- und Dislokationsverhältnisse in einem solchen System gehört der höheren Mathematik an und ich wandte mich daher an Herrn Prof. Dr. Hans THIRRING, Vorstand des physikalischen Institutes der Wiener Universität mit der Bitte, diese Berechnungen durchzuführen.

A. Berechnung der Druckverhältnisse. Für den Druck, den der belastete Zahn gegen das Periodontium ausübt, wurden unter Zugrundelegung des in Fig. 1 abgebildeten physikalischen Systems im Wege der Differentialrechnung folgende Formeln gefunden:

Am Apex selbst ist der Druck

$$Q_a = \frac{2P}{w} \left(1 + 3 \frac{h}{w} \right),$$

Am Alveolarrand ist der Druck

$$Q_r = \frac{4P}{w} \left(1 + \frac{3}{2} \frac{h}{w} \right),$$

wobei P die seitlich einwirkende Kraft, w die Länge der klinischen Wurzel und h den Abstand vom Alveolarrand bedeutet, in welchem die Kraft an der klinischen Krone angreift.

Für den Fall $h = \text{null}$, d.h. wenn die Kraft genau am Alveolarrand angreift, ist der Druck am Apex

$\frac{2P}{w}$, der am Alveolarrand $\frac{4P}{w}$ pro Flächeneinheit. Das heißt, der von der verlagerten Wurzelspitze ausgeübte Druck gegen die Alveolenwand ist halb so groß als der im koronalen Wurzelteil ausgeübte.

Für den Fall $h = w$, wenn also die Kraft an der Kaukante eines

Zahnes angreift, dessen klinische Krone ebenso lang ist wie die klinische Wurzel, ergibt sich als Druck am Apex

$Q_a = \frac{8 P}{w}$, als Druck am Alveolarrand, $Q_r = \frac{10 P}{w}$. Das heißt, daß der Druck in der Apexgegend zwar relativ desto größer wird, je weiter sich der Kraftangriffspunkt vom Alveolarrand entfernt, aber nie ganz den Wert des gegen den koronalen Alveolarteil wirkenden Druckes erreichen kann. Diese mathematische Berechnung bestätigt also die Auffassung BORSCHKES und gibt zugleich für das seltenere Vorkommen apikaler Schäden bei Anwendung unserer gewöhnlichen und besonders auch der Marshon'schen Apparatur mit kippenden Kräften eine einfache Erklärung ab. Die Apparate mit kippenden Kräften greifen am Zahn viel eher in physiologischem Sinne an - d.h. analog funktionellen Kräften - als jene neueren Apparate, die mit Bodilbewegung der Zähne arbeiten, wobei durch Hebelübertragungen auf die Wurzelspitzengegend leicht ein weit größerer Druck konzentriert wird, als gleichzeitig auf die anderen Teile der Alveolarwand, so daß das ganze Befestigungssystem des Zahnes in unnatürlicher Weise beansprucht wird. Auf derartige Kräfte muß denn auch der Organismus, wenn man so sagen kann, "unphysiologischer" reagieren.

B. Berechnung der Lage des Drehpunktes. Für die Lage des Drehpunktes O in dem berechneten physikalischen System der Fig. 1 wurde folgende Formel gefunden:

$$O = 1/3 w \cdot \frac{1 + 3 \frac{h}{w}}{1 + 2 \frac{h}{w}}$$

Die Entfernung des Drehpunktes von der Wurzelspitze ist also gleich einem Drittel der Wurzellänge mal einem Faktor, der von dem Abstand des Kraftangriffspunktes und von der Wurzellänge abhängt.

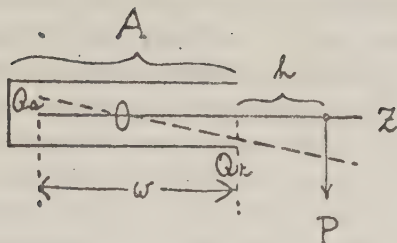


Fig. 1. Starrer Stab Z (Zahn), der in einem elastischen Medium A (Alveole) steckt. Eine am freien Stabende (klinische Krone) angreifende Kraft P disloziert den Stab im Sinne der punktierten Lage um den Drehpunkt O. Hierbei entstehen Druckkräfte Q, die für die Stellen r (Alveolarrand) und a (Apex) berechnet wurden. w = der im Medium steckende Teil des Stabes (klinische Wurzel); h = Abstand des Kraftangriffspunktes von der Befestigungsgrenze r des Stabes.

Für den Fall $h = \text{null}$, d.h. wenn die seitlich wirkende Kraft genau am Alveolarrand angreift, ist obiger Faktor gleich 1. Der Drehpunkt liegt diesfalls genau um ein Drittel der Wurzellänge vom Apex entfernt. Für den Fall $h = \text{unendlich}$, d.h. wenn man sich die Zahnkrone unendlich lang denkt und die seitlich wirkende Kraft am Unendlichkeitpunkt angreift, ist der Faktor gleich $3/2$. Der Drehpunkt liegt diesfalls genau in der Hälfte der Wurzel. Für den Fall $h = w$, d.h. wenn etwa die klinische Zahnkrone genau so lang ist wie die klinische Wurzel und die Kraft an der Kaukante der Krone angreift, dann verschiebt sich der Drehpunkt vom ersten Drittel der Wurzel um $1/9$ gegen die Wurzelmitte zu, er liegt also $4/9$ der Wurzellänge vom Apex entfernt.

Da aber selbst bei voll ausgebildeten jugendlichen Zähnen der schmelzbedeckte Teil des Zahnes zumeist noch nicht ganz durchgebrochen ist (klinische Krone kleiner als die anatomische), da weiters die Länge der anatomischen Krone normalerweise höchstens $2/3$ der anatomischen Wurzel beträgt, wir außerdem bei orthodontischen Maßnahmen die Kraft fast nie am Alveolarrand selbst einwirken lassen können, so verkleinert sich die mögliche Lageveränderung des Drehpunktes, die für den Fall $h = w$ höchstens $1/9$ der Wurzellänge beträgt, in praxi noch weiter ganz beträchtlich.....

..... Somit ist nach dem experimentellen nunmehr auch der mathematische Beweis dafür erbracht, daß es für die Entfernung der Drehungsachse von der Wurzelspitze eines seitlich oder schräg belasteten Zahnes praktisch bedeutungslos ist, in welcher Höhe der klinischen Krone die Kraft angreift. Durch die Berechnungen werden die in der Zusammenfassung zu meiner zitierten Publikation festgelegten Ergebnisse im wesentlichen gestützt. Die mathematische Klarlegung zeigt uns aber auch, daß bei einem solchen physikalischen System, wie es der Befestigungsapparat unserer Zähne darstellt, von einem lokal umschriebenen Hypomochlion überhaupt nicht gesprochen werden kann. Vielmehr beteiligt sich jeder Punkt des elastischen Widerstandes an dem Zustandekommen der Bewegung des starren Stabes im Sinne eines Hypomochlions. Zur Vermeidung eines Mißverständnisses sei betont, daß diese mathematischen Berechnungen nur bis zu dem Moment gelten, in dem der verlagerte Zahn irgendwo den Alveolarrand faktisch berührt. In vivo ist dieser Fall wegen des zwischengeschalteten periodontalen Gewebes nicht möglich, es sei denn durch dessen vollkommene Zerquetschung. Aber auch die annähernde Berührung der Alveolarwand durch den Zahn erfolgt, wie die Versuche und die mathematische Berechnung zeigten, zuerst im koronalen Teil der Wurzel. Erst mit Hilfe dieses Anlehnbereiches kann dann auch der Apex an die gegenüberliegende Alveolarwand angepreßt werden, so daß der Zahn schließlich schräg verkeilt in seiner Alveole steckt. Auch in diesem extremen Fall einer Zahnbelastung ist demnach die Exkursion des koronalen Wurzelteiles zuerst größer und schließlich gleich dem apikalen Wurzelteil. Die Auffassung einer größeren Exkursion des apikalen Wurzelteiles trifft also keinesfalls zu."

SCHWARZ (49) beruft sich in seinem "Lehrbuch der Gebißregelung" auf CASE und schreibt: "... Es ist klar, daß der an einem Punkt seiner Krone von einer Kraft getroffene Zahn zunächst eine Kippung im Zahnfach erfährt. Wo liegt die Drehungsachse dieser Kippung und welche Umstände bestimmen diese Lage im Einzelfall? Mit dieser Frage hat sich die Fachwelt seit langem beschäftigt.

Der Amerikaner CASE, einer unserer größten Fachmänner, ein Zeitgenosse ANGLES, verglich, der Wirklichkeit sogleich am nächsten kommend, den Zahn mit einem in die Erde gesteckten Stab. Lockert man diesen in der üblichen Weise durch seitliches Hin- und Herdrücken, so schlägt bekanntlich das in der Erde steckende Ende jeweils nach der entgegengesetzten Seite aus, wenn auch in wesentlich geringerem Ausmaß als der obere, dem Druck folgende Teil, d.h. daß die Kippungsachse dieser Wackelbewegungen unter der Hälfte des in der Erde steckenden Stabteiles liegt. Die Mechanik spricht hier von einem zweiarmigen Hebel. Der Widerstand der Erde verdichtet sich an der Stelle der Kippungsachse zu einer Aufruh, von der aus der längere Hebelarm unserem Druck folgt, der kürzere Hebelarm in der Erde schafft sich auf kürzerem Wege, aber mit entsprechend größerer Kraft nach der entgegengesetzten Seite Raum. Merkwürdigerweise fand dieser Überzeugende Vergleich nicht allgemeine Zustimmung, namentlich ANGLE widersprach mit der Begründung, daß diesfalls die an der Wurzelspitze an- und austretenden Blutgefäße und Nerven gezerzt und das Leben der bewegten Zähne dadurch höchst gefährdet wäre, was der Erfahrung nicht widerspricht. Daraus schloß ANGLE auf eine Kippung der bewegten Zähne um ihre Wurzelspitze als ruhenden Punkt. Er betrachtete also den von den Sehnenbündeln der Wurzelhaut festgehaltenen Zahn als einarmigen Hebel mit der Wurzelspitze als Drehpunkt. Lange hielt die ANGLE-Schule dogmatisch daran fest, daß der Zahn bei "richtigem" Handhaben der Geräte um die Wurzelspitze kippe und daß das Ausschlagen der Spitze nach der Gegenseite ein Zeichen fehlerhaften Vorgehens sei. Wie wir schon im Abschnitt über zentrische und exzentrische Kippung vorweg gelernt haben, ist heute diese Frage endgültig geklärt. Der CASE'sche Vergleich hat sich hinsichtlich aller kippenden Kräfteeinwirkungen als zutreffend erwiesen. Es ist durch eine Unzahl von Gewebsschnitten erwiesen, daß bei allen seitlichen Kräfteeinwirkungen mit Einpunktkraftangriff auf die Zahnkronen auch bei zartesten Kräften und biologisch günstigstem Vorgehen ein mehr oder weniger starkes Ausschlagen der Wurzelspitze nach der anderen Seite erfolgt, daß wir also bei solchen Bildern immer eine

Druck- und Zugseite in der randständigen Hälfte des Zahnfaches im Sinne der einwirkenden Kraft und eine umgekehrt gelegene spitzenseitige Druck- und Zugseite mit den entsprechenden Ab- und Anbauvorgängen am Zahnfachknochen finden. Wir sprechen von der marginalen und apikalen Druck- bzw Zugseite..."

Nachdem die Bewegung des Zahnes in der Alveole und die damit zusammenhängenden Vorgänge bei axialer Belastung allgemein bekannt sind und bei vorliegender Untersuchung eine relativ untergeordnete Rolle spielen, soll im Folgenden nur auf die extra-axiale Belastung eingegangen werden. Als Begründung sei hier FRÜHLICH (11) zitiert: "Es ist zu berücksichtigen, daß die Belastungsfähigkeit auch von der Belastungsrichtung abhängt. Nur bei achsial belasteten Zähnen werden alle desmodontalen Fasern auf Zug beansprucht. Je größer die Abweichung der Belastung von der Zahnachse ist, umso mehr fallen desmodontale Fasern für die Übertragung des Kaudruckes aus. Wird der Zahn im rechten Winkel zu seiner Zahnachse beansprucht, so ist die Belastungsfähigkeit der achsialen Inanspruchnahme um etwa die Hälfte reduziert..."

In "Die Zahn- Mund- und Kieferheilkunde" von HAUPL schreiben REICHBORN-KJENNERUD (43) u.a.: "Transversale Kaukräfte kippen und verschieben die Zähne in den Alveolen. Die Belastung wird auch bei diesen Bewegungen zuerst von dem lockeren Bindegewebe und den Gefäßen der Wurzelhäute aufgenommen. Dort, wo Druckzonen durch eine Kippbewegung entstehen, werden das lockere, fibrilläre Bindegewebe und die Gefäße in diesem zwischen der Zahnfläche und der alveolären Knochenplatte zusammengedrückt. Nachdem die Fasern gestreckt sind, bleibt eine Partie der Zähne in relativer Ruhe liegen, auch wenn die Belastung weiter zunimmt. Man kann daher sagen, daß die Zähne sich von diesem Zeitpunkt an um eine Drehachse bewegen. Dieses ist jedoch nicht ganz korrekt, da die ruhige Partie oder die Achsenregion bei transversaler Belastung sich auch etwas bewegt. Der Fehler, der dadurch gemacht wird, daß die Drehachse als eine Festliegende angenommen wird, ist jedoch kaum so groß, daß er für die folgende Berechnung der Belastung der einzelnen Teile des Paradontiums

bei transversaler Belastung eine Rolle spielt. Es sind mehrere Versuche gemacht worden, die Drehachse der Zähne rein mathematisch zu bestimmen. Der Physiker THIRRING hat nach BAUER und LANG ihre Lage bei Zähnen mit kegelförmiger Wurzel unter folgenden Voraussetzungen berechnet:

1. Das Knochensystem im Paradentium folgt nicht den Bewegungen des Zahnes.
2. Die Kraft, die eine bestimmte Stelle des Paradentiums bei der Belastung trifft, ist mit der Verschiebung der Wurzelfläche an der gleichen Stelle proportional.
3. Die klinische Wurzel (R) beträgt zwei Drittel der gesamten Zahnlänge (L).

Unter diesen Voraussetzungen stellte THIRRING fest, daß die Achse $0,6 R$ von der Wurzelspitze entfernt liegt also etwa marginal von dem Mittelpunkt der Wurzel. Die Wurzel wird daher durch die Achse im Verhältnis 3:2 geteilt. Die Wurzelspitze wird also bei vestibulo-lingualer Belastung in der Alveole am meisten bewegt werden, der marginale Teil der Wurzel etwas weniger, und das Achsengebiet am wenigsten. Es muß betont werden, daß diese Berechnung auf den genannten Voraussetzungen basiert, und daß sie unter keinen anderen Verhältnissen gilt. Diese Tatsache wird oft übersehen.

BAUER und LANG haben darauf hingewiesen, daß die Achse nach marginal zu verschoben wird, wenn bei Zerstörung des marginalen Paradentiums ein Drittel der Zahnwurzel freigelegt ist. Wenn die Zähne zwei oder mehr Wurzeln haben, ist es sehr schwer, die Drehachse zu berechnen, da die Bewegungen sehr kompliziert werden. THIRRINGS Berechnung von der Lage der Drehachse im Paradentium von einwurzeligen Zähnen stimmt gut mit unseren histologischen Befunden zusammen. Die Wurzelhaut ist sehr oft im apicalen Gebiet am breitesten und etwas marginal von der Wurzelmitte am schmalsten. Dieselben Verhältnisse sieht man häufig in mesio-distalen Schnitten, wenn ein Zahn seine Nachbarzähne verliert, so daß seine Beweglichkeit in mesio-distaler Richtung nicht durch diese behindert wird. Der anatomische Bau des Knochens in der apicalen Region deutet darauf hin, daß die Beweglichkeit

der Wurzel apical am größten ist, weil die alveoläre Knochenplatte um die Wurzelspitze herum und ihre Fortsätze in der Spongiosa Sanduhrform haben. Eine ähnliche Sanduhrform hat auch der Pulpenkanal in der Wurzelspitze, indem er von seiner engsten Partie (Isthmus) zum Foramen apicale hin und zum Pulpencaevum sich erweitert. Dieser anatomische Bau des apicalen Gebietes, den ich in einer früheren Arbeit besprochen habe (REICHBORN-KJENNERUD, 1948) ist früher nicht beschrieben worden, wahrscheinlich, da man ihn nur findet, wenn die Richtung der histologischen Schnitte rein zufällig im apicalen Gebiet zentral gelegt wird.

... Bei transversaler Belastung wird also die Belastung in den Druck- und Streckzonen größer als unter der Einwirkung einer gleichgroßen axialen Kraft. Hinzu kommt, daß die Belastung der Wurzelhaut in den Druckzonen einen anderen Charakter hat als bei axialer Belastung, da diese sämtliche Wurzelhautfasern bis auf die *fibrae apicales* und *fibrae obliquae superiores* streckt. Wie wir später sehen werden, ergeben Streck- und Druckbelastungen verschiedene Gewebsreaktionen. Die speziellen Verhältnisse, die sich bei transversaler Belastung bemerkbar machen, verursachen, daß ein Zunehmen dieser Belastung leichter parodontale Gewebsschäden hervorruft, als ein entsprechendes Zunehmen in der axialen Belastung. Es muß zum Schluß noch erwähnt werden, daß das Zahnfleisch und das supraalveoläre Bindegewebe auch Impulsen sowohl von axialen als auch von transversalen Kaukräften entgegenwirkt. Die mechanische Wirkung von schrägen Kaukräften! Eine Kaukraft, die mehr oder weniger schräg ist im Verhältnis zur Längsachse des Zahnes, kann in axiale und transversal wirkende Kräfte zerlegt werden. Das kann aus der Abb. ersehen werden. Hier ist die Linie für die Kraft K verlängert worden, und eine Linie a ist zur Achse A gezogen worden. Es sind zwei Hilfskräfte K_1 und K_2 eingezeichnet worden, die parallel und gleich der Kraft K sind, um das Drehmoment zu finden. Das Drehmoment wird in diesem Falle $K \cdot a$, wo a der Abstand zwischen dem Kräftepaar K und K_1 , ist. Zerlegen wir K_2 in eine axiale und transversale Kraft, wie auf der Zeichnung gezeigt, erhalten wir den axialen und transversalen Druck, den die Kraft K hervorruft. Der Transversaldruck wird gleich K_4 und der Axialdruck gleich K_3 .

Aus dem Vorhergehenden können folgende Schlüsse über die Wirkung der schrägen Kaukräfte gezogen werden. Das Drehmoment wird größer, je mehr der Winkel zwischen der Kraft und der Längsachse des Zahnes sich 90 Grad nähert und je mehr der Angriffspunkt der Kraft zur Schneidekante des Zahnes hin verschoben wird. In beiden Fällen nimmt a zu. Das Drehmoment nimmt ab, wenn a abnimmt. Der Axialdruck strebt dem Wert K zu, wenn der Winkel zwischen der Kraft und der Längsachse des Zahnes sich 90 Grad nähert. Die Kraft wird dann eine transversale. Der Transversaldruck fällt gegen 0, wenn der gleiche Winkel gegen 0 Grad geht. Die Kraft wird dann eine axiale.



Die Kraft, die einen Zahn in einer bestimmten Richtung trifft, wird infolge dieser Tatsachen die Summe der Kaukräfte und der anderen Kräfte, die in derselben Richtung wirken. Wir nennen alle diese Kräfte die Funktions-

kräfte. Den Funktionskräften entgegen wirken die Reaktionskräfte. Es sind in erster Linie die parodontalen, die im Parodontium eines Zahnes beim Kauen auftreten und die extraparodontalen, die alle anderen Widerstandskräfte umfassen, z.B. diejenigen, die bei gutem Approximalkontakt in den Parodontien der Nachbarzähne sowie in Zunge, Lippe usw. aktiviert werden. Die Bedeutung der Reaktionskräfte geht daraus hervor, daß Zahnwanderungen häufig vorkommen, wenn sie ausbleiben, auch wenn die Funktionskräfte in der Wanderungsrichtung nicht zunehmen. Die Kraft, die während des Kauens auf das Parodontium wirkt und die funktionelle Belastung auf dieses hervorruft, ist also die Differenz zwischen den Funktionskräften und den extraparodontalen Reaktionskräften. Dieses Verhältnis benutzen wir oft bei prothetischen Konstruktionen und bei der Funktionstherapie, ohne es zu überlegen. Wenn z.B. die parodontalen Reaktionskräfte geschwächt sind, können wir sie durch extraparodontale ersetzen dadurch, daß wir mehrere Zähne durch Kronen, Brücken oder andere Prothesen verbinden."

Wichtige Schlußfolgerungen aus den Bewegungen extraaxial belasteter Zähne zog THIELEMAN (56): "Obwohl die direkten Verletzungen

häufig und bedeutsam sind, weil sie eine Parodontitis verursachen und unterhalten können, die schließlich zur Parodontose werden kann, spielen sie in unserer Betrachtung gegenüber den beim Kauakt und im Leerzustand durch die Zähne übertragenen indirekten Beanspruchungen und Schädigungen des Zahnbettes eine geringe Rolle. Während die direkten Schädigungen der Zahnumgebung sichtbare Läsionen der Weichgewebe verursachen, stellen die indirekten eine Beanspruchung der Weich- und Hartgewebe des Zahnbettes dar, die über das physiologische Maß hinausgeht und zu schweren erkennbaren pathologischen Veränderungen an verborgenen Stellen führt. Da hierbei die Widerstandskraft der Gewebe eine große Rolle spielt, so ist es durchaus möglich, daß einerseits eine Anforderung, die für den einen Körper normal erscheint, für den anderen eine übermäßige Belastung mit pathologischen Folgen darstellt, während andererseits eine über das übliche Maß hinausgehende Inanspruchnahme in vielen Fällen keine krankhaften Folgen zeitigen muß. Wenn diese und noch andere später zubehandelnde gemeinsame Kompensationsmittel der Zahnreihe, wie ausgeglichene Artikulation, Schaukelokklusion und Okklusionsfeld nicht ausreichen, um einer gesteigerten Beanspruchung standzuhalten, tritt mehr oder minder schnell ein von den nordamerikanischen Periodontisten als "break-down" bezeichneter Zusammenbruch des Parodontiums ein. In mechanischer Beziehung haben diese Erscheinungen der anfänglichen Steigerung und des späteren plötzlichen Erlahmens des Gewebswiderstandes eine gewisse Ähnlichkeit mit der zahnärztlichen Beobachtung, daß Klammern durch Beanspruchung innerhalb der Elastizitätsgrenze anfänglich eine Steigerung der Elastizitätskraft zeigen schließlich aber bei langer Fortsetzung des Versuchs der sog. Dauerbruch eintritt.

Im Röntgenbild macht sich die gesteigerte Beanspruchung als eine Verdichtung der Knochenzeichnung bemerkbar, solange sie sich innerhalb physiologischer Grenzen bewegt. Als pathologische Folgen sind die Auffaserung des Septums, Verbreiterung des Periodontalspaltes, Trichterform der Alveole, Kavernenbildung, totale Rarefizierung der Alveole im Röntgenbild erkennbar. Ehe nun die indirekten Schädigungen im einzelnen betrachtet werden, ist es

zweckmäßig, die mechanischen Beanspruchungen der Zähne und Paradentalgewebe zu zergliedern.

Es hat sich schon sehr früh, seit KAROLYI, der Gebrauch herausgebildet, falls schädliche Folgen am Zahnbett bemerkbar waren, diese in Beziehung zu einer "Oberbelastung" der betreffenden Zähne zu bringen. Dieser Bezeichnung entsprechend wird derjenige Teil der Behandlung, welcher sich auf die Beseitigung der "Belastungsstörungen" bezieht, "Entlastungsbehandlung" genannt. Beide Ausdrücke, "Oberbelastung" wie "Entlastung", sind aber geeignet, falsche Vorstellungen in bezug auf Entstehung, Wesen wie Behandlung der Kaudruckschädigungen des Paradentiums hervorzurufen. Sie wecken die falsche Annahme, daß die wesentliche Ursache in der Größe der ausgeübten Kraft läge und dementsprechend Verminderung oder gar Aufhebung des Kaudruckes das anzustrebende Ziel sei. Eher wird den Verhältnissen die Auffassung gerecht, daß die betreffenden Zähne einseitig oder ungenügend beansprucht werden. Eine solche Dysfunktion zieht naturnotwendig auch eine Dystrophie des Halteapparates der Zähne nach sich. Richtig ist die Vorstellung, die Belastung in optimaler Richtung umzustellen und schädliche Beanspruchungen auszuschalten.

Es erscheint mir deshalb zweckmäßiger, anstelle von "Oberbelastung" von "Fehlbelastung" und anstelle von "Entlastungsbehandlung" von "Belastungsumstellung" zu sprechen. Auch die Ausdrücke "Belastungsstörung" als pathogenetische Bezeichnung und "Belastungsausgleich" als therapeutische Direktive kennzeichnen nach meiner Auffassung die gegebenen Verhältnisse besser.

...Kraftrichtung. Bereits 1922 hat sich BODO gegenüber KAROLYI und GOTTLIEB dahin geäußert, daß "nicht die "Menge der Kraft", sondern der "seitliche Druck" dasjenige ätiologische Moment ist, welches als pathologisches Produkt die Alveolaratrophie hervorruft." Er stellt der Kraftgröße die Kraftrichtung als das ausschlaggebende Moment gegenüber und geht darin so weit, daß er die Möglichkeit einer axialen Oberbelastung grundsätzlich verneint und nur die seitlich angreifenden Kräfte als schädlich anerkennt. Je stärker die Richtung der wirksamen Kraft von der Achsenrichtung des Zahnes abweicht, um so nachteiliger ist ihre

Wirkung auf das Zahnbett. Seine klinischen Beobachtungen finden darin ihre Stütze, daß jeder in der Längsachse auf den Zahn ausgeübte Druck diesen in die Alveole hineindrückt und eine Versenkung des Zahnes die seitlichen periodontalen Haltefasern hauptsächlich auf Zug beansprucht, während sie nur in einem kleinen begrenzten Bereich der Wurzelspitze zur Druckentstehung führt. Gerade diese Zone ist aber durch ihren anatomischen Bau: Gefäßteilung im Wurzeldelta, spongiöser Bau des Alveolenbodens (SIEGMUND) zur Aufnahme von Druck im Sinne der WESKI'SCHEN hydraulischen Bremse besonders geeignet. Dagegen hat dasselbe Maß des Kaudrucks in seitlicher Richtung auf den Zahn ausgeübt eine geringere Versenkungswirkung, beansprucht aber die eine seitliche Wand des Zahnfaches vorwiegend auf Druck und nur die andere hauptsächlich auf Zug. Diese verschiedenartige Beanspruchung des Zahnfaches kommt dadurch zustande, daß sich der Zahn nicht axialen Kräften gegenüber als Hebel verhält und kippende Bewegungen um eine in seiner Wurzel zu suchende Querachse ausführt.

a) Lage des Drehpunktes. ANGLE nahm für orthodontisch bewegte Zähne an, daß diese Kippungsachse an der Wurzelspitze selbst liege. CASE verlegte sie an die Grenze von mittlerem und apikalem Wurzeldrittel. Theoretisch nimmt SCHRÖDER bei elastischen Formveränderungen der Wurzelscheide einen Drehpunkt kurz unterhalb des Schwerpunktes der Seitenprojektion der kegelförmigen Zahnwurzel an. WINKLER betrachtet den Schwerpunkt der Zahnwurzel selbst als Drehachse. Seine schematischen Zeichnungen geben verschiedene Höhenlagen um die Mitte der Zahnwurzel und tiefer an. FALCK hielt für normale Belastung bei intakter Alveole und Wurzelhaut ein körperliches Ausweichen und nur unter den anormalen Verhältnissen der Parodontose ein Kippen um den Alveolenrand für möglich. Durch Versuche und histologische Befunde wies A.M. SCHWARZ gegenüber dieser auch von BAUER und LANG übernommene Annahme, der zufolge die entsprechende Drehachse in der koronalen Hälfte der Wurzel liegt, nach,

daß sie sich in der Mitte oder der apikalen Hälfte befinde. Er machte dabei auf die Bedeutung der apikalen Periodontalfasern aufmerksam, die eine Intrusion der Wurzel auf der gekippten Seite bewirken und dadurch die Drehachse weiter apikalwärts verlagern. Mehrere Untersucher stimmen darin überein, daß ihre Lage von Fall zu Fall und jeweils nach der Beanspruchung wechselt.

b) Drehmoment. Der Abstand einer seitlich auf die Zahnkrone wirkenden Kraft zu diesem Drehpunkt spielt insofern ebenfalls eine Rolle, als das entstehende Drehmoment je nach der Größe des Abstandes verschieden sein wird.

.... Dauer der Krafteinwirkung (Pressen und Knirschen)
Als letzter Gesichtspunkt bei der Betrachtung der vom Zahn auf das Zahnbett übertragenen Kräfte ist nach MONZESHEIMER neben Größe, Richtung und Angriffspunkt noch die Dauer der Krafteinwirkung von Bedeutung. Der zeitliche Unterschied der Belastung kommt besonders deutlich zum Ausdruck zwischen Inanspruchnahme beim Essen und im Leerzustand. Eigentliche Kaubewegungen und -beanspruchungen werden im Laufe eines Tages beim Essen insgesamt höchstens 1 1/2 Stunden lang ausgeführt. Sie sind sehr verschiedenartig gerichtet und dauernd wechselnd. Eine einseitige langandauernde Beanspruchung der Zahnbetten findet dabei nicht statt."

Zu den neuesten Untersuchungen auf diesem Gebiet muß man die Arbeit von SCHWICKERATH zählen (50). Er schreibt zum Thema "Zahnbewegung":

"..... Kraft und Zahnbewegung. Jede auf den Zahn einwirkende Kraft wird auf das Gewebe des Zahnfaches weitergeleitet. Es soll nun nicht auf die Funktionen der einzelnen Teile desselben eingegangen werden, sondern auf Grund verschiedener Messungen auf die Kraftübertragung geschlossen werden. Die mit den verschiedensten Apparaturen gemessenen und aufgezeichneten Werte des Weges der Zahnbewegung zeigen alle sehr ähnliche Bilder. Nach einem steilen Anstieg, also großer Wegzunahme bei gleichbleibendem Kraftanstieg,

wird die Kurve immer flacher, d.h. die Bewegung nimmt ab. Hieraus kann man aber noch keineswegs auf die Kraftübertragung am eingespannten Teil des Zahnes schließen. K.H. KÜRBER untersuchte die elastische Deformation der Zähne und stellte fest, daß bei der Messung der Bewegung eines Zahnes in vivo die Dehnung der Oberfläche am extra-alveolären Teil gleichmäßig ansteigt. Andere Biegemessungen an extrahierten Zähnen ergaben eine Proportionalität von Kraft- und Weganstieg und somit eine gleichmäßige Zunahme der inneren Spannungen. Die Zahnschubstanz folgt also bei mechanischen Beanspruchungen dem HOOK'schen Gesetz, wie dies auch bereits von BECK und JUNG nachgewiesen wurde. Die stetige Steigerung von Kraft und Durchbiegung bei der Messung in vivo läßt darauf schließen, daß die inneren Spannungen ebenso ansteigen; so kann damit gerechnet werden, daß der Druck am Widerlager gleichmäßig zunimmt, ohne Rücksicht auf den nicht gleichmäßigen Auslenkungsweg der Kronenspitze.

.... Bei einer Vielzahl von Versuchen konnte eindeutig festgestellt werden, daß bei Belastung am "Alveolenrand" der Drehpunkt im "apikalen" Drittelpunkt lag, bei Druck an der Kronenspitze etwa in der Mitte. Es zeigte sich, kein Unterschied bei Beanspruchung in labio-palataler oder mesio-distaler Richtung, wobei jedoch bei der geringen Einspannlänge sich keine kleineren Lageveränderungen des Drehpunktes mehr nachweisen ließen.

.... Man kann mit dem Verfahren von H. SPANGENBERG neben der Lage des Drehpunktes auch die größten auftretenden Randspannungen berechnen. In Abb. 6 sind nun die im Versuch ermittelten Kräfte sowie die wie vorher angegebenen errechneten Werte der größten Randspannungen eingetragen. Außerdem wurden noch die von MARXKORS aufgestellten Werte für die Kräfte am Alveolenrand (K_1) und Apex (K_2) eingezeichnet. Dies erscheint wichtig, da MARXKORS bei seinen umfangreichen Ausführungen gerade zu Beginn ein Irrtum unterlaufen ist. Er nimmt als Grundlage seiner Berechnungen an, daß der Zahn als Stab nur am Alveolen-

rand und am Apex gelagert ist. Dadurch erscheinen bei einer Belastung innerhalb der Auflager "intraalveolär" nur gleichgerichtete Kräfte ohne Drehpunkt, bei Beanspruchung am Alveolenrand ein Drehpunkt am Apex. Die Ausführungen dieser Arbeit zusammen mit den Ergebnissen der durchgeführten Versuche haben wohl eindeutig ergeben, daß die Berechnungsgrundlagen von MARXKORS falsch sind. So sind auch alle daraus abgeleiteten weiteren Formeln und deren Ergebnisse ungenau.

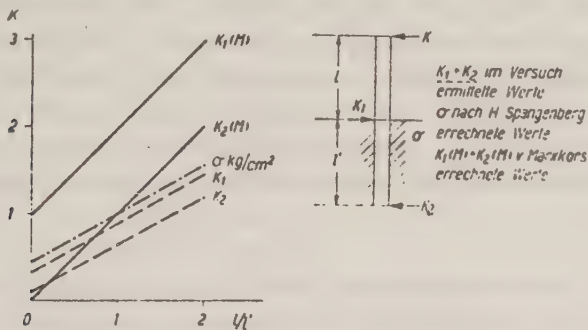


Abb. 6. Die Beanspruchung am Alveolenrand (K_1) und Apex (K_2) in Abhängigkeit von der Größe der angreifenden Kraft K und dem Verhältnis von l (Kronenlänge) zu l' (Alveolenlänge) nach verschiedenen Berechnungen.

Kraftangriff und Weg. Trotzdem bleibt die Tatsache bestehen, daß mit steigendem Abstand des Kraftangriffspunktes vom Alveolenrand eine ungünstigere Druckverteilung mit größeren Randspannungen auftritt. Nun wird aber auch damit der von der Kronenspitze zurückgelegte Weg größer. Bei einer ganzen Reihe von Abstützungs- und Halteelementen liegt hier der Angriffspunkt. Doch ist diese Lage nicht immer ungünstiger als in Alveolennähe, denn in vielen Fällen ist es wohl möglich, eine große Kraft auszuüben, jedoch lassen gleichzeitig die gegebenen Umstände nur begrenzte Wege zu. Es würde der gleiche Weg in Alveolennähe zweifellos zu weitaus ungünstigeren Belastungsverhältnissen in der Alveole führen als derselbe an der

Kronenspitze. Hierin liegt wohl der Erfolg der VAN THIEL'schen Kämpchen und Kappenschienen begründet, bei denen auch schon stark parodontotische Zähne über Jahre keine weitere Lockerung zeigten. Ähnlich sind die Belastungsverhältnisse sowohl bei der Freidendbrücke als auch bei der Teleskopkronenverankerung. Hier führt die vertikale Belastung auf das freie Ende zu einer Bewegung um den Drehpunkt des Zahnes; dabei ist die Länge der Zahnkrone und damit der Angriffspunkt der Kraft nicht von Bedeutung. Das Drehmoment wächst mit dem senkrechten Abstand vom Drehpunkt. Es kann sich jedoch nur voll auswirken, wenn kein Auflager vorhanden ist wie bei der Freidendbrücke. Jedoch ist bei kleinem Anhänger die Belastung noch so gering, daß hieraus ihre lange Lebensdauer in der Praxis zu erklären ist. Bei Teleskopkronenverankerungen können sich aber bereits geringe Abbauvorgänge unter dem Sattel sehr ungünstig auswirken."

Stand in den vorangehenden Beiträgen der Drehpunkt des Zahnes im Mittelpunkt der Untersuchungen, so soll nun auf die Bewegung selbst eingegangen werden. Die physiologische Zahnbeweglichkeit läßt sich in mehrere Phasen zerlegen, wie sämtliche Autoren übereinstimmend feststellen. KÜRBER schreibt dazu 1962 (24): "Gewiß gibt die Untersuchung der Zahnbeweglichkeit als Funktion der einwirkenden Kraft Aufschluß über bereits manifestierte Gewebsveränderungen, wie sie etwa von REHM als Verfestigung des Pfeilerzahnes bei starrer teleskopierender Abstützung partieller Prothesen neuerdings wieder beobachtet wurde, aber dem Erfassen momentaner Zustandsänderungen des Parodontiums kommt eine ebenso große Bedeutung zu. Wie nun können wir diese feststellen? Zur Klärung dieser Frage muß zuerst ermittelt werden, wie der funktionelle Wirkungsmechanismus des Parodontiums aussieht und welche Gewebs-teile an dieses biodynamische Geschehen gebunden sind. Nach HAUPL ist das Parodontium immer mehr oder weniger entzündet. So liegt es nahe, die infolge Änderung des hydro-

statischen Gewebszustandes als Initialphase der Entzündung entstandene parodontale Hyperämie als Ursache einer anfänglichen biophysikalischen Zustandsänderung anzusehen. Es bleibt zu untersuchen, ob und wie die lokale Durchblutungsänderung des Parodontiums seine Funktion beeinflusst.

..... Wenn ein Zahn innerhalb seiner physiologischen Bewegungsweite ausgelenkt wird, kehrt er nach Aussetzen dieser Kraft wieder in seine Ausgangsstellung zurück. Wie bewirken nun die parodontalen Gewebsanteile diese Rückstellungsbewegung? Als Beitrag zur Klärung des parodontalen Funktionsmechanismus wird im folgenden zunächst die Rückstellbewegung des Zahnes untersucht. Diese Rückstellbewegung wird in horizontaler Richtung gemessen, nachdem die Testzähne durch eine definierte Kraft zur Zahnachse senkrecht ausgelenkt wurden

..... Physikalisch gesehen kriecht das Parodontium. Ein Überspringen über die in unbelastetem Zustand bestehende Nullstellung, wie dies angenommen wird, wenn man den Zahn als starres Pendel betrachtet, findet bei dieser parodontalen Kriechfallfunktion nach einer einmaligen starken statischen Auslenkung nicht statt. Zum Verständnis der aperiodischen Kriechbewegung des Parodontiums müssen wir kurz auf dessen Gefäßsystem eingehen. Die Endaufzweigung des parodontalen Gefäßsystems besteht aus Kapillarschlingen und Knäueln, die zuerst von WEDEL und danach von SCHWEITZER beschrieben wurden. HAUPL fand diese Glomeruli vorwiegend an funktionell stärker beanspruchten Stellen des Parodontiums. Die Auffassung SCHWEITZERS, daß diesen Gefäßschlingen eine besondere Aufgabe in Form einer Art Druckpolsterung zukomme, wurde von ESCHLER durch einen Vergleich zwischen Kapillardruck und Kaukraftgröße widerlegt. Die Kriechbewegung des Parodontiums könnte man sich nach der Theorie der kapillaren Pufferwirkung allerdings auch folgendermaßen vorstellen: Die "federelastische Rückstellkraft" der Periodontalbänder wird durch das Gefäß-

system so stark gedämpft, daß eine schnelle Bewegung oder gar ein Oberschwingen des stark ausgelenkten und dann plötzlich entlasteten Zahnes nicht möglich ist. Dann aber müßte diese hydrostatische Dämpfung noch lokaler oder peripher verursachter Vasokonstriktion geringer und damit die Rückstellgeschwindigkeit größer sein. In dem folgenden Grundversuch wird die Rückstellgeschwindigkeit des Zahnes nach Lokalinjektion von 2 ccm eines Anästhetikums mit stark gefäßverengendem Zusatz gemessen. In dem Oszillogramm sieht man, wie die Rückstellgeschwindigkeit vermindert und der steile Abfall zu Beginn der Kurve nahezu senkrecht geworden ist. Diesen Vorgang erklären wir uns dadurch, daß der Kippdrehung des Zahnes bei Einengung des Parodontalraumes und damit des Kapillarnetzes auf der Druckseite eine Erweiterung und Dehnung auf der Zugseite entspricht. Durch das anastomosierende Kapillarsystem (SCHWEITZER, BOEHL) entsteht ein vaskulärer Zirkulationsmechanismus. Er verursacht nach Entlastung des Zahnes einen allmählichen, von der Zugseite und aus extraalveolären Gebieten auftretenden hydrostatischen Druckausgleich. So wird der Zahn langsam wieder in seine Ausgangsstellung zurückbewegt. Wie aber erklären wir uns den steilen, nahezu senkrechten Verlauf der Kurve zu Beginn der Rückstellbewegung? Unter den Wechselbelastungen beim Kauvorgang werden die Kiefer und die Alveolarfortsätze elastisch deformiert (JUNG). Die elastische Deformation der Zahnhartsubstanz selbst wurde im Hinblick auf konservierende Füllungs-therapie und Cariesätiologie untersucht (BLACK, DRIAK, JUNG, BECK). Neuerdings konnten wir zeigen, daß die elastische Deformation ganzer menschlicher Zähne bei quasistatischen Messungen in der Parodontologie in bestimmten Meßbereichen nicht vernachlässigt werden kann (KÜRBER). Vergleichende Untersuchungen ergaben, daß bereits unter physiologischen Normalbelastungen, gemessen

mit dem Kaukraftmeßgerät nach SCHREIBER die Zahnhartgewebe elastisch deformiert werden. In den Oszillogrammen wurden aber der Weg der Zahnkrone gegenüber einem mechanischen Bezugspunkt gemessen. Dieser gemessene Weg setzt sich aus der periodontalen Zahnbeweglichkeit und aus der elastischen Deformation des Zahnes, der alveolären Kompakta und des Alveolarfortsatzes zusammen. Damit aber sind in diesen Kurven gleichzeitig zwei Bewegungsabläufe festgehalten: Im steilen Kurvenverlauf die elastische Deformation der beteiligten Hartgewebe und daran anschließend die Kriechbewegung des Zahnes im Parodontium zur Ausgangsstellung hin. Der menschliche Zahn führt wie jeder deformierte, hochelastische Körper nach plötzlicher Entlastung Biegeschwingungen aus. Diese elastischen Deformationsschwingungen konnten von uns nach Aufbringen von Meßelementen auf die Zahnoberfläche erstmalig nachgewiesen und von der parodontalen Zahnbeweglichkeit getrennt gemessen werden (K. KÜRBER und E. KÜRBER)..... Durch diese Grundversuche kann also die bisherige Darstellung der Beweglichkeit des Zahnes erweitert werden: Er führt außer der zuvor analysierten Kriechbewegung reine Biegeschwingungen aus. So können wir die physiologische Zahnbeweglichkeit oder, anders ausgedrückt, die gelenkige Bewegung dieser dentoalveolären Syndesmose in ihre funktionellen Anteile folgendermaßen gliedern:

Erzwungene Zahnauslenkung:

Straffen der in Ruhelage gewellt liegenden Periodontalfaserbündel,

Hydrodynamische Zirkulation von der Druck- in die Zugseite und in die alveoläre Umgebung,

Spannen des Bandapparates,

Biegung des Zahnes,

Elastische Deformation der alveolären Kompakta und der Alveolarfortsätze.

Parodontale Rückstellbewegung:

Rückstellbewegung des alveolären Knochengewebes,

Biegeschwingungen des Zahnes,
Entspannen der Periodontalbänder,
Hydrostatischer Druckausgleich mit nachfolgender Kriech-
bewegung,
Entstraffen und welliges Zusammenschieben der Periodon-
talbänder

Besonders HOFFMANN beschäftigte sich mit der Zahnbeweg-
lichkeit. Er stellte 1963 (14) eine Apparatur vor, die es
ermöglicht, Diagramme zu erstellen zur Beurteilung des
parodontalen Zustandes. Er stellt fest: ".... Für die Be-
urteilung einer Zahnbeweglichkeitskurve können ihre ein-
zelnen Abschnitte getrennt herangezogen werden.

1. Die "initiale Zahnbeweglichkeit" (MOHLEMANN), die die
Phase der "freien" Beweglichkeit der Periodontalfasern
bis zu ihrer Streckung darstellt.

2. Die Phase der Anspannung der Periodontalfasern, die,
wenn man deren physikalische Eigenschaften nach den Un-
tersuchungen TRIEPELS zugrundelegt, direkt in die drit-
te Phase der elastischen Deformation der am Parodontium
beteiligten Hartsubstanzen und des Zahnes übergeht (Den-
toalveoläre Phase).

4. Die Rückstellphase, d.h. das Verhalten des Zahnes nach
plötzlicher Entlastung und seine Rückkehr in die Ausgangs-
lage.

Besonders geeignet für eine Beurteilung scheint uns die
erste und vierte Phase zu sein. Hier halten wir die Be-
zeichnung "periodontale Zahnbeweglichkeit" für treffender,
weil dieser Abschnitt der Kurve nun tatsächlich die Ver-
hältnisse im Periodontalraum widerspiegelt. Entzündliche
Prozesse im Bereich des Zahnhalteapparates führen zu An-
derungen des physikalischen Verhaltens der Periodontal-
fasern einerseits, andererseits ändern sich die Strömungs-
verhältnisse in den Blut- und Lymphbahnen und damit die
hydrostatischen Druckverhältnisse im Periodontalraum.
Folgerungen aus diesem geänderten Zustand des Flüssig-
keitssystems lassen sich aus dem letzten Abschnitt der

Kurve, der freien Rückstellung des Zahnes, ziehen. Auch hier ist es der periodontale Bereich der Rückstellung, der eindrucksvoll durch das allmähliche Zurückpumpen des Zahnes in seine Ausgangslage imponiert (SAVDIR, HOFMANN, K.H. KÜRBER)."

Zum gleichen Thema veröffentlichte HOFMANN auch 1963, einen umfangreichen Beitrag (16): ".... Fassen wir das bisher Gesagte zusammen:

Der Zahn pendelt in seiner Ruhelage im Pulsrhythmus. Bei Belastung straffen sich die in der Ruhelage gewellten Periodontalfaserbündel.

Gleichzeitig findet eine Flüssigkeitsverschiebung von der Druck- in die Zugzone statt.

Danach folgt die Anspannung der Periodontalbänder und bei weiter zunehmender Kraft die elastische Deformation des Zahnes und des Alveolarknochens.

Bei der Entlastung erfolgt der Ablauf in umgekehrter Reihenfolge:

Rückstellbewegung vom Alveolarknochen und Zahn, wobei nach K.H. KÜRBER der Zahn noch Biegeschwingungen durchführt.

Entspannen der Faserbündel.

Hydrostatischer Druckausgleich und Zusammenschieben der Periodontalfasern.

Für die wissenschaftliche Parodontologie ist die Kenntnis der Beweglichkeit des Zahnes, seiner Bewegungsform während der Belastung und Entlastung ein bedeutendes Hilfsmittel, um Aufschlüsse über den funktionellen Zustand des Parodontiums zu erhalten."

Im Zusammenhang mit den Beweglichkeitsmessungen untersuchte HOFMANN 1967 (15) Pfeilerzähne bei abgestützten Prothesen und fand unphysiologische Bewegungsabläufe. Dagegen ermittelten REHM, KÜRBER, E. und KÜRBER, K.H. 1962 (42) anhand der Messung verschiedener Bewegungsabläufe bei Belastung einer starr abgestützten Freientprothese (Intrusion des Pfeilerzahnes, seine Kippung in der Alveole), daß die Kippung in physiologischen Gren-

zen bleibt. Damit unterstrichen die Autoren ihre klinische Erfahrung, daß starr abgestützte Freundprothesen sich bewähren.

6. Betrachtung der Wurzelhaut und des Kieferknochens unter statischen und dynamischen Gesichtspunkten

Die in den Zahn eingeleiteten Kräfte werden also nun an die Wurzelhaut und den Kieferknochen weitergegeben. Zur Aufgabe der Wurzelhaut und des Kieferknochens schreibt 1964 WEBER-THEDY (61) als Fortführung seiner Gedanken von 1961 (62): "Der Wurzelhaut, die aus den SHARPEY'schen Fasern mit dazwischengelagerten FLÜSSIGKEITSRÄUMEN besteht, wird die Aufgabe eines hydroelastischen Stoßdämpfers zugeschrieben. Wenn dies die einzige Aufgabe der Wurzelhaut ist, stellt sich die Frage, warum wurde dieses Problem im dento-alveolären Gelenk nicht auch durch Knorpel wie in anderen Gelenken gelöst? Die Wurzelhaut wird deshalb von Sehen gebildet, weil sie eine weitere Funktion zu erfüllen hat, die meines Wissens bisher unbeachtet blieb. Diese Funktion soll hier beschrieben werden.

Der Kragarm. Als Kragarm bezeichnet man einen freilaufenden Träger (Balkon). Wird dieser Träger belastet, so erleidet er eine Deformation. Greift die Last am freien Ende in Lotrichtung an, wird der Kragarm so gebogen, daß die der Erde zugewandte Seite eine konkave, die abgewandte eine konvexe Kontur annimmt. Diese ist eine typische Biegelinie. (Abb. 1)

Deformation inszeniert Materialbeanspruchung. Bei jeder Deformation treten in elastischen Stoffen differenzierte Materialbeanspruchungen auf. Für den Kragarm kann man folgende Faustregeln aufstellen: In der konvexen Trägerhälfte wird das Material gedehnt (+), in der konkaven gestaucht (-), während in der Mittelachse, der sogenannten Neutral- oder Nullfaser (o), keine derartigen Beanspruchungen auftreten. Im Kragarm wird das Material parallel zur Achse gedehnt bzw. gestaucht. Folgt das Material dem

HOOK'schen Gesetz, dann ist die Materialbeanspruchung proportional der Deformation. Demnach nimmt die Beanspruchung zu den Oberflächen hin linear zu; die maximale Beanspruchung liegt an den Rändern (Randspannung). Diese Beanspruchungsdifferenzen im Kragarmquerschnitt werden durch das sogenannte Spannungsdiagramm graphisch dargestellt. Bei linearer Zunahme sind es Dreiecke, die mit ihrer Spitze auf der Nullfaser stehen. (Abb. 2)

Abb. 1 (links). Belasteter Kragarm; oben konkave, unten konvexe Kontur.

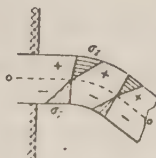


Abb. 2 (rechts). Belasteter Kragarm-Ausschnitt: - = Druckzone, + = Zugzone, o = Nullfaser (Achse); z = Diagramm Zugspannung, p = Diagramm Druckspannung

Dehnung inszeniert Deformation. Zwischen Materialdehnung und Deformation besteht eine so zwingende Abhängigkeit, daß die relativ gedehnte Seite eines Stabes immer eine Konvexität ausbildet

.... Überlagerung von deformierenden Kräften. Aus den vorhergehenden Überlegungen ergibt sich, daß ein Kragarm, bei dem die Last auf in die Oberseite eingefügte Keile gelegt wird, eine doppelte, gleichförmige Biegung erleidet. Die Folge davon ist eine größere Deformation mit gleicher Biegelinie, was eine verstärkte Materialbeanspruchung mit sich bringt. Die Randspannungen können dabei bald das Limit der Materialfestigkeit überschreiten. Dies bedeutet Fraktur des Trägers. Diese ungünstige Kombination liegt bei den Zähnen in den Kiefern vor. Deren Biegemöglichkeit ist sicher unerwünscht, weil sie den logischen Widerstands- und Festigkeitsabsichten des Skelettes zuwiderläuft.

Die Materialfrage: Aus allgemeiner Erfahrung wissen wir, daß Stoffe spezifische Festigkeitseigenschaften haben können. So wird ein Seil (Kette) nur einer Dehnung, die Steinsäule einer Stauchung Widerstand leisten. Die zitierten Materialien können kombiniert werden (Eisen-Beton). Weil diese Forderung auch an das Skelett gestellt wird, sind hier zugfeste kollagene Fibrillen mit druckfester mineralischer Grundsubstanz vereinigt. Diese sind im Knochen so sinnvoll angeordnet, daß die Fibrillen die Zug-, die Grundsubstanz die Druckanstrengungen kompensieren (trajektorieller Knochenbau)....

.... Die Kiefer als Kragarme

a) der Unterkiefer (UK): Das corpus mandibulae kann man als Kragarm ansprechen, der über den Angulus am Ramus fixiert ist. Die beiden Kieferhälften sind beim Menschen zwar fest vereinigt, können meiner Meinung nach als am Mentale getrennt aufgefaßt werden, da diese bei vielen Tieren (z.B. Rind) hier nur sehnig verbunden sind. Der Alveolarfortsatz bildet mit dem Corpus statisch eine Einheit. Durch die Kaukraft (KK) wird der UK so belastet, daß er, gleich einem Kragarm, eine Biegung mit okklusaler Konvexität erleidet. Danach liegt der Zahnfortsatz in der Dehnzone, der Mandibularkanal entspricht der Nullfaser und der Basalbogen der Druckzone.

b) Der Oberkiefer (OK): für den Oberkiefer gelten grundsätzlich die gleichen Verhältnisse. Der Alveolarfortsatz ist ein an Joch- und Stirnbeinpfiler verankerter, fazial ausladender Kragarm, der durch den Gaumenfortsatz eine Querversteifung erfahren hat. Hier bleiben die beiden Seiten links und rechts eindeutig nähtig getrennt. Die Deutung des OK als Kragarm wird einleuchtend, wenn man Schädel aus der Tierreihe betrachtet. Noch ähnlicher wird der OK dem UK bei Fischen und Amphibien, bei denen das Munddach von der Schädelbasis gestellt wird, da sie als Mundatmer auf die Nasenhöhle und damit Gaumendach verzichten können. Durch die Kaukraft wird der OK so nach cranial gebogen, daß die Biegelinie wieder eine okklusale Konvexität

erhält. Der Alveolarfortsatz ist wieder Zugzone, die Kieferhöhlen gehören der Neutralzone und die Joch- und Stirnbeinpfiler der Druckzone an. Aus diesen Erwägungen geht hervor, daß zwischen OK und UK kein qualitativer, sondern allenfalls ein quantitativer Unterschied besteht. Alle weiteren Überlegungen gelten damit generell. Die Beweglichkeit des UK im Kiefergelenk bleibt, weil hier ohne Bedeutung, außer Betracht. Der Knochen ist in Form und Struktur trajektorieell auf diese physiologische Belastung ausgerichtet; er ist in Form und Struktur von der Funktion polarisiert. Deshalb sind seine Festigkeitswerte nur bei physiologischer Beanspruchung optimal. So können schon relativ kleine, aber andauernd richtungsverkehrte Kräfte die biodynamische Toleranzbreite überschreiten. Dies erklärt die Parodontose in unterbelasteten Gebissen.

Die Zahnreihen und die Deformation. Wird der Kiefer der Kaukraft (KK) ausgesetzt, erfährt der Alveolarfortsatz eine Dehnung, deren Maximum okklusal in den Zahnreihen wirkt. Wäre die Kaufläche ein Stück von Zahnreihenlänge, müßte der spröde Schmelz zerreißen. Durch Teilung der Kauflächen in Einzelzähne kann die Zahnreihe mühelos dieser und auch jeder anderen Deformation, z.B. Torsion der Kiefer, nachgeben. Die Zahnreihe fächert sich gewissermaßen mesio-distal auf. Dies ist auch ein Grund, warum die Natur, Einzelzähne wählte und die Toleranzquint T IV das Weiterbestehen dieses Zustandes fordert. Bei dieser Auffächerung, die mit steigender KK zunimmt, gehen aber die Approximalkontakte immer mehr verloren. Einpressen von Speise in die Interdentalräume ist die Folge. Bei Nachlassen der KK geht die Biegung wieder laufend zurück. Die sich nun schließenden Kontaktpunkte halten wie eine Klammer Speisereste fest. Um diesen sicher unerwünschten Effekt zu verhindern, schaltet sich die Wurzelhaut ein.

Die Zuggurtungsfunktion der Wurzelhaut:

Die Zahnwurzel hängt an zugfesten SHARPEY'schen Sehnen in der Alveole. Bei axialer Belastung des Zahnes werden diese Sehnen gleichmäßig gespannt, der Wurzelhautspalt verringert sich. Durch diese "funktionelle Vorspannung der Zuggurtung", Wurzelhaut, verkürzt sich die Zugzone: Alveolarfortsatz. Vorstellungsmäßig tritt eine mit der KK sich steigernde Okklusabiegung auf. Mittels dieses Mechanismus bleiben die Approximalkontakte erhalten; anstatt sich zu öffnen, werden sie eher fester. - Eine Wurzelhaut aus Knorpel würde einen gegenteiligen Effekt zeitigen. Dies ist die Antwort auf die gestellte Frage, warum die Wurzelhaut aus zugfesten Fasern besteht! -

Dieser Effekt tritt aber nur bei der KK-belasteten Zahngruppe ein. Zähne ohne gegenwärtige Kaufunktion fächern sich auf; hier kann ja keine Speiseeinpressung stattfinden. Es versteht sich von selbst, daß eine ordnungsgemäße Anspannung der Wurzelhaut nur durch Versenken des Zahnes in seine Alveole möglich ist. Der Absinkweg, die Resilienz der Wurzelhaut, wird durch die Toleranz T II erfaßt.

Der Wurzelkeil. Damit dieser Okklusabiegungseffekt exakt erreicht wird, muß die KK-Übertragung auf die Kieferknochenbeanspruchung abgestimmt sein. Da bei Biegung des Kieferkragarmes die Zugbeanspruchung etwa linear zur Nullfaser abfällt, nehmen auch die Wurzelumfänge linear ab. Die Zahnwurzeln sind wie Keile mit spitzem Apex geformt. Diese befinden sich in der Zugzone; sie überschreiten die Neutralfaser: Mandibularkanal, im allgemeinen nicht. Es ist nun denkbar, durch günstige Wahl der Keilwinkel eine so ideale Kombination entstehen zu lassen, daß die Okklusal- der Caudalbiegung entspricht. Dies bedeutet, die Alveolarfortsätze bleiben durch die KK-Belastung biegungsfrei. Auch die elliptischen Horizontalquerschnitte der Wurzeln, deren große Radien die mesio-distale

Achse des Kieferkragarmes senkrecht schneiden, haben ihre Bedeutung. Dadurch bilden sich große approximale Insertionsflächen für die SHARPEY'schen Sehen. Dies weist darauf hin, daß die Kragarmbelastung des UK dessen Kardinalbeanspruchung ist. So ist auch der vertikale UK-Querschnitt zu deuten, dessen lange Profilachse orthograd im Lot des Kaukraftfeldes steht. Der Wurzelkanal kann aber nur exakt wirken, wenn die KK in ihm axial verläuft. Aus diesem Grund sind alle Zahnachsen auf das Kaukraftfeld ausgerichtet. Eine geringe Korrektur dieser Achse kann nach Durchbruch und Einstellung des Zahnes in die Kaufunktion durch Kauflächenabrasion und gezieltes Wurzelwachstum noch erfolgen. Die Abkrümmungen der apikalen Wurzeln haben dieses Ziel. Als Zahnachse funktioniert eine Resultante aus cervikaler und apikaler Achsenkomponente. Diese Achsrichtung sowie die Einzelbewegung der Zähne wird als Toleranz T IV geführt. Die Achsrichtung stimmt immer mit der Kaukrafttrichtung überein. Dies ist wieder ein Hinweis darauf, daß die Mastikatoren für jeden Zahn eine spezielle Kaukraftresultante errichten.

Zerstörung der Wurzelhautfunktionen. Verläuft die KK nicht in der Zahnachse, betätigt sich die Wurzel als Hebel (Breachstange), die die Alveole aufsprengt. Die Zugseite des Kieferkragarmes wird wieder doppelt gedehnt, nachdem auch der funktionelle Zuggurtungseffekt ausgeschaltet ist. Öffnung der Kontaktpunkte tritt wiederein (Abb.18). Diese richtungsverkehrte Belastung der nur für Zugbeanspruchung geeigneten Wurzelhaut führt aber auch meines Erachtens zu zwei typischen Zerstörungen am Parodontium. Auf der Druckseite (-) wird die Wurzelhaut zerquetscht, während sie auf der Zugseite (+) im cervikalen Anteil wegen Überlastung einreißt. Die Maxima der Beanspruchung liegen hier. Die Druckseite wird mit keilförmigem, vertikalen, die Zugseite mit horizontalem Abbau der Alveolen reagieren, wie wir es aus Bildern der Parodontose kennen (Abb.19).

Diese Erwartungen bestätigen auch pathohistologische Bilder, die streng nach Druck- bzw. Zugseite differenzierte Alterationen der Wurzelhaut zeigen.



Abb. 18. Nicht orthograde Belastung kippt den Zahn; D = Druckzone, Wurzelhaut wird zerquetscht; Z = Zugzone, Wurzelhaut reißt wegen Überlastung ein



Abb. 19. Druckzone (-) führt zu keilförmigem Vertikalabbau, Zugzone (+) zu Horizontalabbau der Alveolen (Parodontose)

JUNG hatte schon 1952 Versuche mit der Elastizität der Mandibel angestellt (19) und 1960 eine Arbeit mit dem Thema: "Die funktionell-elastische Deformation des Kieferknochens und die Eigenbeweglichkeit der Zähne" veröffentlicht (18). MARX führte diese Untersuchungen fort (33). Er schreibt u.a.: "Es wurde festgestellt, daß schon ein einfaches Leerschlucken minimale elastische Kieferdeformierungen hervorruft. Vor allem wurde nachgewiesen, was bisher nur vermutet worden war, daß die horizontalen Kieferäste beim kraftvollen frontalen Abbeißen und insbesondere bei druckstarker einseitiger Kauarbeit in vertikaler Richtung durchgebogen werden. Beim einseitigen Kauen tritt dabei auf der Arbeitsseite eine Durchbiegung mit einer basalen Konvexität auf, während gleichzeitig der gegenüberliegende arbeitsfreie Kieferast eine basal konkave Aufbiegung erfährt."

Die von WEBER-THEDY (61) aufgrund theoretischer Überlegungen angenommene "Auffächerung" der Seitenzahnreihen bewies MARX 1967 (34): ".... Wie wir zeigen konnten, kommt es also sowohl bei starker frontaler Belastung der Mandi-

bula als auch bei extremer Druckbelastung im Molarenbereich infolge der elastischen Deformierung der horizontalen Kieferäste tatsächlich zu einer Auffächerung der Seitenzahnreihen."

7. Irreversible, kurzfristige Auswirkungen von unphysiologischen Kräften.

Hierunter soll verstanden werden z.B. eine Zahnfraktur, Luxation, Extraktion, Fraktur des Kieferknochens u.ä.. Diese Schäden treten aber, wie allgemein bekannt, in der Regel nicht durch Kaukräfte auf, sondern kommen durch Unfall und ähnliches zustande. Ausnahmen stellen die sogenannte "Hasenschrotfraktur" dar, Frakturen an kariös zerstörten Zähnen oder Spontanfrakturen an einer stark geschwächten Mandibula. Dies bedeutet nun nicht, daß die Kaukräfte nicht ausreichen würden, solche Schäden hervorzurufen (theoretisch mögliche Kaukraft), sondern hier besteht ein reflektorischer Schutzmechanismus, wobei die Wurzelhaut die Kaukräfte nervös steuert. Auch der übrige knöcherne Schädel ist mitbeteiligt. SCHREIBER (45) meint hierzu 1957, indem er sich auf SCHRÜDER (46) beruft: "SCHRÜDER kommt dabei zu der Erkenntnis, daß bei allen Messungen gar nicht die wirklich vorhandene Kraft der Kaumuskeln, welche ja aus dem Muskelquerschnitt annähernd berechnet werden kann, sich ablesen läßt, sondern daß jeder Messung durch die Schmerzwellen der Wurzelhaut oder der Kieferschleimhaut eine Grenze gesetzt ist. Wie sehr sich SCHRÜDER mit diesem Problem befaßt hat, zeigen vor allem seine Versuche, die Schmerzgrenze durch Anaesthetie auszuschalten oder die Empfindlichkeit der Einzelzähne durch Kappenschienen herabzusetzen. Abschließend schreibt SCHRÜDER: "Es war interessant festzustellen, daß der gesteigerte, über das physiologische Maß hinausgehende Kau- druck außerhalb der Grenzen des Anaesthesiegebietes an der Stirn-, Nasengrenze und in der Schläfengegend schmerzhaft Empfindungen auslöste. Ein Beweis dafür, daß auch der

knöchernen Aufbau und die Architektur des Kiefer- und Gesichtsskeletts nur auf den von der Empfindlichkeit der Wurzelhaut begrenzten Kaudruck eingestellt sind."

UHLIG hat in seiner grundlegenden Arbeit "Über die Kaukraft" (58) dazu folgendes gesagt: "Für die Begrenzung relativer Kaukraftherzeugung ist in erster Linie die "Wurzelhaut" zuständig. Sie stellt das Kraftübertragungsmedium zwischen Zahn und Knochen dar. In ihr befinden sich die nervösen Rezeptionsfelder für die reflektorische Steuerung der Kaukraftentfaltung, die angesprochen werden, wenn ihre zugfesten Fasern beansprucht, ihre extra- und intravasalen Gewebeflüssigkeiten durch Drücke komprimiert werden. In diesem Grenzraum kommt folglich der Relation zwischen Kraft und Druck Beachtung zu nach der Alternative: je kleiner die Wirkfläche, umso größer der Druck. MORELLI hat experimentell nachgewiesen, daß den Volumeneinheiten "Wurzelhaut" verschiedener Zähne gleiche Sensibilität innewohnt, was beiläufig auf eine einheitliche Steuerung dieser Einrichtung durch das zentrale Nervensystem hinweist. Wird ein Zahn nicht "achsen-gerecht" beansprucht, steuert die jeweils angesprochene Teilfläche der Wurzelhaut die Kraft, indem sie uns die unphysiologische Beanspruchung "unangenehm" oder "schmerzhaft" bewußt werden läßt. Dies bedeutet, daß selbst Zähne mit insuffizientem Zahnhalteapparat bei Bewußtsein vor "unsinnigen" Insulten geschützt sind. Ähnliche Bedeutung wie die Wurzelhaut hat der von P. HOFFMANN beschriebene Masseterschutzreflex für die Erzeugung von Kaukräften. Sein Rezeptionsfeld ist das gesamte Tegument der Mundhöhle. Er veranlaßt, beeinflußt durch die ständige Raumänderung des Cavum oris während des Kaugeschehens, eine Hemmung der Kraftherzeugung, wenn die Zähne nach Durchtrennung des Bisses in Berührung geraten. Damit schützt er die Zahnhartsubstanz vor zu hoher Beanspruchung, Zunge und Weichteile vor Verletzungen. Nicht zuletzt haben die Kauflächen Einfluß auf den Haushalt der Kaukräfte. Sie können gleichsam als vorgeschobene Tast- oder Rezeptionsfel-

der ihrer abhängigen Wurzelhaut begriffen werden, der sie durch ihre bestimmte Form und Lage ein gewisses Raumgefühl vermitteln. Es befähigt den oder die jeweils benutzten Zähne im Rahmen der Kiefergelenkfreiheiten so in das "Kaukraftfeld" zu stellen, daß die anliegende Kauaufgabe kräftesparend gelöst, der nicht verbrauchte Kraftüberschuß durch die Hauptrichtung der beteiligten Wurzeln dem umgebenden Nachbargewebe form-erhaltend weitergeleitet werden kann. An der Zahn-Kau- oder Wirkfläche werden Bissen bzw. Meßkopf unter Druck gesetzt, der je nach Größe der beteiligten Kaufläche und der wirksamen Kaukraft variiert. An einem gelegentlichen klinischen Ereignis der sog. Hasenschrotfraktur eines Zahnes, können diese elementar-physikalischen Relationen besonders augenscheinlich werden. Zerkleinert man Hasenbraten mit einer dafür erforderlichen mäßigen Kaukraft und beiß dabei "unvermutet" auf eine Schrotkugel, so wird der wirksame Flächenkontakt plötzlich auf deren Pole verkleinert. Der gegebene Kaukraftaufwand kann sich dem veränderten Umstand nicht sofort reduzierend anpassen und erzeugt für einen kurzen Augenblick einen so hohen Druck an den winzigen Wirkflächen, daß die Zahnhartsubstanz nicht selten zu Bruch geht."

REDTENBACHER schreibt zu diesem Thema 1964 u.a. (41): "Die Kaukraft unterliegt einer neuro-muskulären Regulation, die eine automatische Schutzbremse darstellt. Diese ist nicht meßbar, aber die zerstörenden Folgen eines Versagens dieser Schutzautomatik sind bekannt. Die Muskulatur des menschlichen Körpers ist unter Sonderbedingungen, z.B. in Hypnose, zu Höchstleistungen fähig, die die Normleistung des Individuums weit überschreiten. Ein Ausfallen der reflektorischen Schutzmechanismen im Bereich des Kauorgans tritt u.a. im epileptischen Anfall und im Elektroschock auf."

8. Irreversible langfristige Auswirkungen von unphysiologischen Kräften

Hierunter sollen die Auswirkungen der Kaukräfte verstanden werden, die sich allmählich, nach Wochen, Monaten evtl. Jahren, einstellen und die, wenn überhaupt, nur durch das Eingreifen des Zahnarztes wieder beseitigt werden können, soweit sie zumindest unerwünscht sind; denn, wie allgemein bekannt, werden ja in der Funktionskieferorthopädie diese Kaukräfte zur Erzielung erwünschter Auswirkungen genutzt. Weiterhin wäre ohne die langfristigen Auswirkungen der Kaukräfte in der ontogenetischen Entwicklung des Gebisses überhaupt kein funktionsfähiges Kauorgan zu erreichen.

WEBER-THEODY schreibt hierzu (62):" Die Entwicklung und das Wachstum des Mundorgans werden also entscheidend von der Funktion, den Muskelimpulsen aus den wechselnden Richtungen mitbestimmt. Wie nun die Muskelreize das Kauorgan formen, können wir bei der Entwicklung des Kauorgans sukzessiv studieren.

Zahnloser Säugling: Beim Säugling werden die beiden Kiefer im Saugakt geformt, geweitet und in die etwa richtige Lagebeziehung zueinander gebracht. Einseitige, fehlerhafte und Unter-Funktionen sind als perverses Muskeltraining zu verstehen. Falsche Funktionen führen aber zu falschem Skelett wie fehlerhaften Bißlagen usw. An der Formung sind alle mastikatorischen, mimischen (Peristaltik) Muskeln und die Zungenmuskeln beteiligt.

Zahneinstellung: Der Kaumuskelimpuls regt die Kieferwälle über den Durchbruch der Zähne an. Ihr Höhenwachstum begrenzen die jeweiligen Antagonisten. Das Wachstum ist dann beendet, wenn die antagonistischen Kräfte gleich groß sind..."

Hier sollen also die unphysiologischen, langfristigen Auswirkungen der Kaukräfte angesprochen sein, z.B. übermäßiger Zahnabrieb, wie ihn KRAFF (27) beschrieben hat. Eine

grundlegende und gerade im Hinblick auf vorliegendes Thema sehr wichtige Arbeit veröffentlichte MAPXKORS 1962 (35). Er schreibt hier:" Die Reaktion des Zahnes auf eine extraalveoläre Kraft ist besonders für die Prothetik, aber auch für die Kieferorthopädie von großer Bedeutung, weil durch Zahnersatz, wenn man von totalen Prothesen absieht, in jedem Falle Einzelzähne oder Zahngruppen einer erhöhten Belastung ausgesetzt werden. Die Auswirkungen dieser Kräfte, die sich klinisch

1. in einer Bewegung des Zahnes und

2. in einer Lockerung des Zahnes bei horizontalem Kochenbau manifestieren, sind in ihrem Ausmaße abhängig von der Größe, der Richtung und dem Angriffspunkt der angreifenden Kraft. Die genaue Berücksichtigung dieser Relationen muß die Voraussetzung und das Fundament für die Planung und Ausführung der Prothese sein.

ad 1. Die Bewegung des Zahnes in Abhängigkeit von der Größe, der Richtung und dem Angriffspunkt der extraalveolären Kraft: Da man als gesicherte wissenschaftliche Erkenntnis voraussetzen kann, daß die reine Axialkraft als Extremfall Zahn und Parodontium nicht schädigt, soll zunächst nur der andere Extremfall der reinen Horizontalkraft Gegenstand unserer Betrachtungen sein. Die Kraftrichtungen zwischen Vertikal- und Horizontalkraft werden später besprochen. Durch die Horizontalkraft erfährt der Zahn eine Lageveränderung im Sinne einer Kippung. Grundsätzlich sollen zwei Lageveränderungen des Zahnes unterschieden werden,

a) die momentane, physiologische und

b) die innerhalb einer verhältnismäßig langen Zeitspanne erfolgende orthopädische.

....Es beginnt ad b) die orthopädische Bewegung, bei der zu jedem Zeitpunkt die momentane, physiologische Bewegung erhalten bleibt. Am Ende der orthopädischen Bewegung ist die Lage der Alveole gegenüber der ursprünglichen verschieden. Wenn man die erste als intraalveoläre Bewegung bezeichnet,

könnte man die zweite intraossale Bewegung nennen.

In beiden Fällen wirkt der Zahn als Hebel, durch den die angreifende Kraft auf die ihn umgebenden Gewebe übertragen wird. Es ist viel darüber diskutiert worden, ob der Zahn dabei als ein- oder doppelarmiger Hebel fungiert. Wie aus den widersprechenden Ansichten ersichtlich, ist das Problem noch nicht eindeutig gelöst. Die Schwierigkeiten liegen vor allem in den für Modellversuche unumgänglichen Vereinfachungen und in den für mathematische Berechnungen erforderlichen Praemissen, die eine allgemeingültige Aussage in starkem Maße erschweren.....

.....Ergo: Die Lage der Drehachse ist abhängig von der Größe des Knochenabbaues in den Druckzonen! Der Knochenabbau ist wiederum nach den bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen abhängig von dem auf den Knochen einwirkenden Druck. Man kann annehmen, daß zwischen der Größe des Abbaues in einer Zeiteinheit und der einwirkenden Kraft ein lineares Verhältnis besteht, daß also der Abbau in dem Maße größer wird, wie die Kraft zunimmt. Der Abbau ist weiterhin abhängig von der Zeitdauer der einwirkenden Kraft. Ein momentaner Druck bewirkt noch keinen Knochenabbau. Erst wenn der Druck längere Zeit besteht (die ersten Osteoklasten kann man nach 12 Std. beobachten), kommt es zum Abbau. Auch zwischen der zeitlichen Dauer der Krafteinwirkung und dem Abbau darf man ein lineares Verhältnis voraussetzen. Ergo: Der Knochenabbau ist von der Größe und der zeitlichen Dauer des Druckes abhängig!.....

.....Die orthopädische Lageänderung des Zahnes ist nur möglich nach stattgefundener Veränderung der Alveole. Die Veränderung der Alveole vollzieht sich durch Knochenan- und abbau. Das Ausmaß und die Lokalisation des Knochenan- und abbaues hängt von der prozentualen Flächenbelastung ab. Diese wiederum ist abhängig von der Form der Zahnwurzel und von dem Angriffspunkt der Kraft. Die Lage der Drehachse ist ausschließlich abhängig von dem Verhältnis 1/1 (mit anderen Worten: von dem Angriffspunkt der Kraft und der Form der Wurzel). Die kurzfristige, intraalveoläre Bewegung wurde eingangs von der orthopädischen

unterschieden. Für die vorstehenden Berechnungen der orthopädischen Bewegungen wurde zur Vereinfachung der Widerstand des Periodontalgewebes = 0 gesetzt. Das entspricht aber nicht den natürlichen Gegebenheiten. Das Periodontalgewebe setzt dem Zahn sehr wohl einen Widerstand entgegen, wenn er aus seiner Ruhelage bewegt wird. Der Widerstand nimmt zu mit dem Maße der Abweichung aus der Ruhelage. Wird bei der initialen Bewegung das Gewebe zunächst am Alveolenrand komprimiert, so ist an dieser Stelle der Widerstand für ein ganz geringes Zeitmaß dt größer als am Apex. Es erfolgt daher ein Ausschlag der Wurzelspitze zur entgegengesetzten Seite. Ist das Maß der Nachgiebigkeit auch beim Periodontalgewebe proportional der Kraft pro Flächeneinheit, so ist die Lage der Drehachse für die physiologische Bewegung dieselbe wie bei der orthopädischen. Sie hängt ebenfalls vom Verhältnis $1/1$ und der Form der Wurzel ab.

ad 2. Die Lockerung des Zahnes bei horizontalem Abbau: Es wurde im Vorausgehenden eindeutig herausgestellt, daß eine Bewegung des Zahnes erst dann erfolgen kann, wenn ein vertikaler Knochenabbau stattgefunden hat. Der vertikale Abbau ist aber nicht die einzige Reaktion des Knochens auf die Horizontalkraft. Viele Beobachtungen berechtigen zu der Annahme, daß auch der horizontale Abbau in irgendeiner Weise von der Horizontalbelastung abhängig ist. Diese Erscheinung wird besonders bei einzel- und überbelasteten Zähnen deutlich, bei denen eine Retraktion des Zahnfachknochens und der Gingiva auftritt. Während das Parodontium an allen übrigen Zähnen normal ist, liegt der Zahnhalss an den bei der Seitwärtsbewegung besonders belasteten Zähnen frei. Fälle dieser Art sind bei jugendlichen Patienten recht häufig zu beobachten. Ebensooft sieht man auf Röntgenbildern von überbelasteten Zähnen einen maulwurfbürmigen Abbau. Das lokale Moment der Horizontalbelastung soll im Hinblick auf die Ätiologie der Abbauvorgänge nicht überbewertet werden, es soll nur angenommen werden, daß es im Ursachenkomplex einen Faktor darstellt."

MARXKORS fand dann sogar eine mathematische Formel, die den horizontalen Knochenabbau in Abhängigkeit von der Zeit be-

rechnen läßt. Wenn auch SCHWICKERATH (50) diese von MARXKORS gefundene Formel als ungenau bezeichnet, so zeigt sie doch zumindest verschiedene Gesetzmäßigkeiten auf und verdeutlicht die Vorgänge die zur Zahnlockerung führen.

9. Ursachen extraaxialer Kräfte

Die extraaxialen Kräfte können ja bekanntermaßen verschiedene Ursachen haben. Sie können bedingt sein durch Zahnstellung und Zahnform, durch Fehlfunktionen oder auch durch die prothetische Versorgung. Als Beispiel sei hier zunächst genannt die Zahnhöckerneigung. Zu diesem Punkt schreibt KEIL (20): "Die menschlichen Zähne sind bekanntlich optimal für eine vertikale, d.h. in der Achsenrichtung auftreffende Kaukraftwirkung eingerichtet. Jede horizontale Komponente, die sich infolge ungünstiger Artikulation der Zähne ergeben kann, gilt mit Recht als nachteilig, da sie bei Dauerwirkung das Pericontaigewebe schädigt und damit zur Insuffizienz des Gebisses beiträgt. Bei physiologisch ungenügender Abkautung der Höcker, wie sie bei einem Großteil der zivilisierten Menschheit heute angetroffen wird, ergeben sich Horizontalkomponenten der Kaukraft insbesondere an den mehr oder weniger steil bleibenden natürlichen Höckerflächen als schiefen Ebenen und nur bei mehr oder weniger plangeriebenen Kauflächen der Höckerzähne und bei gleichzeitigem Kopfbiß im Vorderzahnbereich belastet der vertikale Kaudruck den normal stehenden Zahn annähernd axial. Künstliches Einschleifen holt daher nur nach, was von der Natur gewollt ist, wie man besonders an Tiergebissen ansehen kann, die eine optimale Abkautung und gerade dadurch eine funktionelle Vollwertigkeit aufweisen. Mit Recht spielt daher das Einschleifen des Zahnsystems in der zahnärztlichen Therapie eine nicht geringe Rolle, und zwar sowohl in der Behandlung von Parodontopathien, wie in der Prothetik und bei manchen Leiden des Kiefergelenkes...

... Für die Horizontalkomponente folgt also bei konstanter Vertikalkraft eine Abhängigkeit vom Neigungswinkel im Sinne einer Sinusfunktion. In Kurvendarstellungen folgt daraus eine flache Sinuskurve, von der man alle Werte für die verschiedenen Winkel ablesen kann. Bei 45° Neigung hat demnach die waagerecht wirkende

Kraft ihren größten Wert, nämlich die Hälfte der senkrecht wirkenden Kraft... Es wird überdies deutlich, daß das Abschleifen steiler Höcker (über 45°) die Horizontalkomponente zunächst noch ansteigen und erst später sinken läßt..."

Auch MARXKORS (35) hat zum Thema Kraftrichtung und Zahnform Stellung genommen. Er stellt u.a. fest: "..... Eine reine Horizontalkraft als direkt einwirkende funktionelle Kraft gibt es aber nur als Grenzfall. In der Regel müssen wir sie uns als Teilkraft einer in irgendeiner Richtung auf den Zahn einwirkenden Kraft denken. Als Teilkraft ist sie daher abhängig von der Richtung der einwirkenden Kraft und von der Form und Gestalt des Kauflächenreliefs. Dieses wird bei Molaren und Prämolaren besonders deutlich sichtbar. Die Kauflächen der Molaren und Prämolaren bilden, von der Fissur zur Höckerspitze ansteigend, mit der Horizontalen - diese steht senkrecht auf der Zahnachse - schiefe Ebenen, die um den Winkel geneigt sind. Trifft nun auf diese schiefe Ebene eine Vertikalkraft, die den Zahn wohl axial belasten würde, so wird sie dennoch nicht axial fortgeleitet, sondern im rechten Winkel zur schiefen Ebene. Je nach Neigung der Ebene weicht die fortgeleitete Kraft mehr oder weniger von der Zahnachse ab. Die fortgeleiteten Kräfte können wir uns entstanden denken aus einer horizontalen und vertikalen Teilkraft. Beide Teilkräfte lassen sich in ihrer Größe errechnen."

Daß z.B. auch Endpfellerbrücken extraaxiale Kräfte in die Pfeilerzähne einleiten und diese auf Kippung beanspruchen, bewies u.a. KLÜTZER (22): "Die zahnärztlichen Brückenarbeiten wurden bis vor kurzer Zeit als völlig starre Konstruktionen angesehen. Experimentelle Untersuchungen über Art und Umfang der an Brücken auftretenden elastischen Deformationen sind bisher nicht bekannt. In der vorliegenden Arbeit wurde zunächst anhand der bekannten physikalischen und mathematischen Gegebenheiten die physikalische Notwendigkeit einer elastischen Deformation der

Brücken dargelegt. Da bei der Durchbiegung die fest mit der Brückenkonstruktion verbundenen Pfeilerzähne eine Kippung erfahren müssen und da sie, je nach parodontaler Beschaffenheit, dieser Kippbewegung Widerstand oder Folge leisten, sind mathematisch nur die Extreme zu erfassen, zwischen denen das tatsächliche Verhalten der Brücken liegen muß. In der ersten Versuchsreihe wurde mit Hilfe der elektrischen Widerstandsdehnungs-Meßstreifen an Phantombrücken der Einfluß von Länge, Form und Verblendung der Brückenzwischenglieder auf die Durchbiegung ermittelt. Auch bei kurzen und massiven Zwischengliedern konnte stets auch bei einer Belastung der Brücke mit nur ca. 1 kg eine Durchbiegung festgestellt werden. In einer zweiten Versuchsreihe wurde ebenfalls mit Dehnungsmeßstreifen die Durchbiegung der Brücken und die diese Durchbiegung verursachende Belastung im Munde der Patienten gemessen. Außerdem wurde noch durch eine optische Methode die Kippung der Brückenanker registriert. Untersucht wurden neun Brücken. Bei allen Brücken konnte eine Durchbiegung und eine Kippung der Brückenanker -unter einer Belastung in physiologischen Grenzen- festgestellt werden. Bei vier von neun Fällen leisteten die Pfeilerzähne den kippenden Kräften keinen wesentlichen Widerstand. In den übrigen fünf Fällen war die parodontale Festigkeit so groß, daß die Durchbiegung -bei gleicher Belastung der Brücke- um ca. 1/3 zurückging. Durch die optische Messung der Pfeilerzahnmessungen wurden diese Ergebnisse bestätigt. Die Kippung erfolgte im Durchschnitt um $0^{\circ} 30'$ und bis zu Maximalwerten von $0^{\circ} 55'$ und ging im Verlauf von drei bis vier Wochen auf die Hälfte zurück. Bei einer Kippung um diese Winkel kann der Zahn -je nach Lage der Drehachse- Wege von der Größenordnung der Periodontalspaltbreite zurücklegen....."

VOSS (60) führt, hierauf bezugnehmend, unter anderem aus: " ... Ober das statische Verhalten hat KLÜTZER in einer ausgezeichneten Arbeit berichtet. Leider wurde aber auch in neuesten Lehrbüchern hieraus nicht die Konsequenz gezogen. Jede Brücke

erfährt unter dem Kaudruck eine gewisse Durchbiegung. Diese wirkt sich auch als Kippbewegung auf die Pfeilerzähne aus. Je steifer die Brücke ist, um so geringer sind diese Kippbewegungen. Zudem sind die Kaukräfte, die auf eine Brücke einwirken, sehr hoch und es nimmt kaum wunder, wenn man gelegentlich beobachtet, daß eine Brücke durchbricht oder an ihrer schwächsten Stelle in der Mitte durchgebogen wird, und daß dabei die Pfeiler kippen...."

In einer der neuesten Veröffentlichungen beschäftigt sich SCHWICKERATH (51) mit diesem Problem: "...1954 berichtete van THIEL über unliebsame Erscheinungen bei sogenannten Schwebelücken. Auch bei uns klagten Patienten mit Schwebelücken über mangelndes Kauvermögen. Eine andere Patientin kam mit einer gebrochenen Brückenkonstruktion in unsere Praxis. Sie wollte sich aber diese nicht entfernen lassen, da sie jetzt erst richtig kauen könne, vorher hätten die Zähne bei jedem Bissen geschmerzt.....

.....KLUTZER konnte an einer Reihe von Brückenkonstruktionen eine Kippung der Pfeiler bei Belastung auf dem Zwischenglied in der Mitte zwischen den Pfeilerzähnen messen. Bei seinen Phantomversuchen zeigte sich eine Abhängigkeit der Durchbiegung von der Konstruktion des Zwischengliedes und seiner Länge. Es besteht kein Zweifel, daß der physiologische Halteapparat des Zahnes jeder vertikalen Belastung den größten Widerstand entgegensetzen vermag, wohingegen horizontale Beanspruchungen über das physiologische Maß hinaus zu seiner Schädigung führen können. Nach der Auffassung von PAUWELS und KUMMER sind kleinste Gestaltsverzerrungen der adäquate mechanische Reiz zum Knochenabbau. Bei einer solchen Formveränderung sind aber immer Zug- und Druckspannungen vorhanden. Ein Knochenabbau kann aber nicht nur durch eine unphysiologische Überbeanspruchung entstehen, sondern auch durch das Fehlen eines solchen Reizes, bekannt als Inaktivitätsatrophie. Betrachten wir ein stark vereinfachtes Beispiel einer theoretisch absolut starren Brücke: Bei Belastungen in der Mitte sinken die Brückenpfeiler nahezu gleichmäßig ein. Kraftangriffspunkte außerhalb der Mitte bewirken immer eine Kippung beider Brückenpfeiler in

der gleichen Richtung. Anders ist das bei Brücken, die so konstruiert sind, daß sie sich leicht in der Mitte durchbiegen können. In diesem Falle kippen die Zähne bei allen Kraftangriffspunkten innerhalb der Zahnachsen nach innen. Es wird also eine vermehrte Zugbeanspruchung an den äußeren Alveolarrändern eintreten, wohingegen an den inneren Rändern diese Beanspruchungen, also auch Formänderungen, weitgehend fehlen. Es kann nach meiner Meinung durchaus möglich sein, daß dieses Fehlen einer Verformungsbeanspruchung eine zumindest funktionsmindernde Wirkung auf den Zahnhalteapparat haben kann....."

10. Extraaxiale Kräfte in der Kieferorthopädie

Wie allgemein bekannt, benutzt die Kieferorthopädie extraaxiale Kräfte zur Lageveränderung von Zähnen. Es mag sinnvoll sein, sich an dieser Stelle Kraftgrößen, Einwirkungsdauer und Art der Einwirkung zu vergegenwärtigen, um gegebenenfalls Schlüsse zu ziehen auf die Folgen unerwünschter Belastungen. In einem Standardwerk (49) schreibt SCHWARZ hierzu: ".....Dritte Vorbedingung für das künstliche, dabei gefahrlose Verschieben von Zähnen im Knochen ist also das Weiterleben des Wurzelhautgewebes im Druckbereich. Der Stoffwechsel muß weiter gewährleistet sein! Aus dieser einfachen Überlegung heraus ergibt sich die folgende Abstufung der Druckkräfte, die auf die Zähne einwirken können, nach vier biologischen Wirkungsgraden und zugleich die richtige Auswahl jener künstlichen Druckkräfte, die eine unschädliche Ortsveränderung der Zahnwurzeln im Zahnfachknochen gewährleisten. Die vier biologischen Wirkungsgrade von Druckkräften.

1. Kräfte des ersten biologischen Wirkungsgrades = kieferorthopädisch unterschwellige Druckkräfte.

Das sind Kräfte, die für den sogleich einsetzenden Knochenumbau im Sinne eines kieferorthopädischen Erfolges nicht hinreichen, sie sind entweder

a) zu kurzdauernd, z.B. das übliche Fingerlutschen kleiner Kinder nur beim Einschlafen im Ausmaß von etlichen Minuten bis zu einer Viertelstunde oder

b) durch gegengerichtete Kräfte im Gleichgewicht gehalten, z.B.

durch Lippen- und Wangendruck von außen, Zungendruck von innen.
c) alle Kräfte, die in für Zahn und Knochen gewohnter Weise bei Ausübung ihrer natürlichen vorbestimmten Arbeit einwirken, z.B. die dem Kiefer angepaßte, nicht künstlich abgeänderte Kautätigkeit...

d) Vollständigkeitshalber sollte man auch noch Kräfte anführen, die an sich überhaupt zu schwach sind, um Stellungsänderungen im Zahnknochen herbeizuführen. Es hat sich aber gezeigt, daß selbst kleinste Kräfte, die überhaupt noch erwähnenswert sind, Kräfte von wenigen Gramm, die also nur noch einer leichten Berührung entsprechen, wenn sie nur lange genug einwirken, Umbauvorgänge veranlassen, ja die so hervorgerufenen Gewebsvorgänge müssen in gewebskundlichem Sinne als Vorbild für ein unschädliches Vorgehen bezeichnet werden. Vorbedingung für diesen Erfolg ist aber, wie schon besprochen, daß solche an sich schwächste Kräfte den Zahn in einer seiner natürlichen, vorbestimmten Aufgabe nicht entsprechenden Weise belasten und aus dem gewohnten Umweltgleichgewicht bringen, z.B. anhaltende Belastung von der Seite....

2. Kräfte des zweiten biologischen Wirkungsgrades = schwache oder kurzweilige Druckkräfte.

Das sind Kräfte, die den Blutstrom der Haargefäße (Kapillaren) nicht unterdrücken, d.h. es entsteht im Druckbereich der Wurzelhaut zwar eine Gewebseinengung, die Gewebseinheiten werden etwas zusammengedrückt, aber nicht so stark, daß der Säftestrom irgendwo eine Unterbrechung erfährt. Auch im Druckbereich bleiben also Sauerstoff- und Nahrungszufuhr zu den Geweben erhalten, es findet keine Stauung des giftigen Stoffwechselabfalles statt. Dieser Zustand wird durch zweierlei Kräfte herbeigeführt:

a) durch Kräfte, die tatsächlich schwächer sind als der kapillare Blutdruck, d.h. schwächer als 15 bis 20 g je qcm gedrückter Fläche, ein Kraftausmaß, daß etwa einer Berührung mit der Fingerspitze gleichkommt. Für kurze Zeit eingesetzt, bleibt eine solche Kraft natürlich unerschwerlich. Wenn sie aber, sei es dauernd oder immer wieder in häufiger Folge und gleicher Richtung ansetzend, durch Wochen bis Monate anhält, genügt unter

der oben besprochenen Bedingung unnatürlicher Beanspruchung schon eine Kraft von wenigen Gramm, um den Zahn dauernd aus seiner Gleichgewichtslage innerhalb der Wurzelhautgewebe, aus seiner gewohnten Ruhestellung, seiner "Mittelstellung" herauszubringen und so die Wurzelhaut in den Druckbereichen etwas einzuengen;

b) durch Kräfte, die an sich wohl stärker sind als der kapillare Blutdruck, ja diesen um ein Vielfaches übersteigen können, dabei aber so kurzwegig, daß der Raum zwischen Wurzeloberfläche und Zahnfachwand nur teilweise verengt wird, so daß auch dadurch der Säftestrom des gedrückten Weichgewebes noch genügend freien Raum behält.

3. Kräfte des dritten biologischen Wirkungsgrades = mittelstarke Druckkräfte.

Das sind Kräfte, die etwas stärker sind als der kapillare Blutdruck, sodaß sie den Saftstrom im Druckbereich zwar auf die Dauer ihrer Einwirkung unterdrücken, das eingeklemmte Gewebe aber nicht zerquetschen. Nun wissen wir, daß selbst die Kaukraft mit ihren im Mahlzahnbereich eines kräftigen Gebisses an die 100 kg, jedenfalls aber viele Kilogramme, betragenden Drücken von der Wurzelhaut ohne Zerquetschung vertragen wird; sonst müßte diese ja nach jeder Mahlzeit in weitem Umfange zerstört sein. Bekanntlich wird dank der überaus kräftigen sehnigen Aufhängung der Zahnwurzel in ihrem Zahnfach eine solche örtliche Einklemmung der Wurzelhaut durch die kurz dauernden Druckeinwirkungen beim Kauen mit großer Sicherheit verhindert, indem auch stärkster Kaudruck von den angespannten Sehnenbündeln der Gegenseite abgebremst wird. Ganz anders aber, wenn auch nur eine wesentlich schwächere Kraft als die volle Kaukraft einige Stunden hindurch auf den Zahn in gleicher Richtung einwirkt. Bei einer solchen, nicht widmungsgemäßen, unnatürlichen Krafteinwirkung, zu der auch schon länger anhaltendes Knirschen mit seinen bekannten, beim Erwachsenen zur vorzeitigen Zahnfachschrumpfung führenden Schäden gehört, versagt diese Schutzvorrichtung. Die angespannten Sehnenbündel ermü-

den, werden überdehnt und es kommt zur Einklemmung der Wurzelhaut in den Druckgebieten. Dieser bedenkliche Zustand tritt natürlich desto eher ein, je stärker die Kraft ist. Bei Gewebsuntersuchungen von Zähnen, die niemals eine kieferorthopädische Behandlung durchgemacht haben, ergaben sich immer wieder als Gelegenheitsbefunde ausgeheilte Einschmelzungsstellen an den Zahnwurzeln, auch in Regelgebissen mit einwandfreier Arbeitsweise; solche Stellen mit Gewebstod der Wurzelhaut und Einschmelzungs-herden an den Zahnwurzeln finden sich besonders auch in jugendlichen Gebissen mit eingeleiteter Selbstregulation an den Zähnen, die im Anschluß an eine Zahnentfernung selbsttätig wanderten. Bei diesen Zähnen darf man annehmen, daß sie während ihrer Ortsveränderung vorübergehend in eine "traumatic occlusion" geraten sind, daß sie also, ihrer seitlichen Abstützung durch Nachbarzähne beraubt; zeitweise überlastet oder auch nur falsch belastet wurden, was zu Wurzelhautschäden mit allen ihren Begleit- und Folgeerscheinungen führen kann. Diese Vorfälle beweisen, daß auch Zahnbewegungen, die ausschließlich unter dem Einfluß der natürlichen Funktionen vor sich gehen, Gewebsschäden keineswegs ausschließen; um wieviel mehr natürlich muß dies für Zähne gelten, zu deren Stellungsänderung Geräte welcher Art immer Verwendung finden. Schon die von einem FKO-Gerät veranlaßte Änderung der Funktion gibt reichlich Anlaß zu zeitweisen Überlastungen und es ist daher nicht weiter verwunderlich, daß auch bei durchaus schulgerechter Verwendung dieser Geräte gelegentlich ebensolche Druckstellen der Wurzelhaut beobachtet wurden, wie bei aktiven Platten.

Umfang und Ausmaß des Schadens hängen natürlich auch noch von anderen Umständen ab; so etwa von der Beschaffenheit der Zahnfachwand, die namentlich in jugendlichen Gebissen oft nicht eine glatte, mit der Wurzeloberfläche parallel verlaufende Fläche darstellt sondern bucklige, mitunter stachelige Vorsprünge und muldige Einziehungen aufweist, so daß die Wurzelhaut, örtlich unter starken Druck gesetzt wird, der zu raschem Zelltod führen kann. Die schwächlich ausgebildeten Wurzel-

hautsehnern der Gebisse kaufauler Menschen werden auch einer nicht besonders starken Kraft gegenüber viel leichter versagen als kräftige; auch allgemeine Umstände der Ernährung, des hormonalen und inkretorischen Gesamtzustandes, der Konstitution und dgl. sind hier zweifellos mitbestimmend. Im allgemeinen haben sich die Kräfte zwischen 20 und 50 g für Vorder- und Backenzähne je Zahn unter den im folgenden besprochenen Bedingungen als unschädlich erwiesen und wir wollen daher unter mittelstarken Kräften Druckkräfte dieses Ausmaßes verstehen. Der biologische Erfolg einer solchen Kraft ist nun grundverschieden, je nachdem, ob die Kraft von Zeit zu Zeit aussetzt oder dauernd anhält. Setzt die Kraft rechtzeitig wieder aus, bevor das zusammengedrückte Gewebe unter dem Mangel an Blutzufuhr dauernden Schaden genommen hat, bevor es sozusagen erstickt ist, dann schießt wieder Blut in die noch unverletzten Gefäße und das Gewebsleben geht wieder weiter. Zum weiteren Verständnis der Lebensvorgänge muß vorweggenommen werden, daß der Zahn nach einem solchen Druck teilweise in seiner umgelegten Stellung durch längere Zeit verbleibt, also nicht gleich wieder in seine Mittelstellung zurückfedert. Das Wurzelhautgewebe des Druckbereiches bleibt also weiter etwas eingeeengt, sozusagen zerknüllt, wie etwa ein Daunenpolster, auf dem man eine Zeitlang geruht hat, und diese Einengung hat den gleichen Erfolg, als wäre eine schwache Druckkraft weiter wirksam; so kommt es auch jetzt, wie im Falle des zweiten biologischen Wirkungsgrades, zur Bildung von Osteoklasten entlang der Zahnfachwand. Die Tätigkeit dieser Zellen bringt es natürlicherweise mit sich, daß sie, während sie den Knochen einschmelzen, mehr und mehr in Knochenbuchten zu liegen kommen, die sie sich selbst schaffen. Wird nun der Zahn wieder von der mittelstarken Kraft getroffen, die den Saftstrom neuerlich unterdrückt, dann kann die Mehrzahl der Osteoklasten dank ihrer geschützten Lagerung in ihren Mulden entlang den Zahnfachwänden (HOWSHIP'sche Lakunen) trotzdem weiterarbeiten; inzwischen setzt die Kraft wieder aus, neues Blut strömt durch das gedrückte Weichgewebe, der Zahn bleibt wieder teilweise in seiner umgelegten

Stellung, neue Ostoklasten werden gebildet und so fort, kurz, dank den zwischengeschalteten Erholungsphasen für das eingeklemmte Gewebe, dank der hierbei verbleibenden teilweisen Einengung und dank den geschützt liegenden Ostoklasten geht der Knochenabbau auch bei mittelstarken Kräften ungestört und ohne Schaden für die betroffenen Gewebe vor sich. Nun darf eben die Kraft jeweils nicht länger anhalten, als das Gewebe ohne neue Blutzufuhr am Leben bleiben kann. Glücklicherweise übersteht das Wurzelhautgewebe solche erzwungenen Atempausen, wie vielfältige Erfahrung gezeigt hat, eine ganze Nacht über ohne Schaden für die Zahnwurzeln und damit begründet sich die biologisch unschädliche, wirkungsvolle Anwendbarkeit von Behelfen mit zum Teil mittelstarker Kraftentfaltung, die nur nachtsüber im Munde getragen werden. Wohl kann es, wie schon gesagt, auch bei diesen Geräten, ja selbst bei den mit vielen Druckunterbrechungen nachtsüber arbeitenden Aktivatoren der FKO mitunter zum Zelltod des Wurzelhautbindegewebes kommen. Aber diese kleinsten Erstickungsnerde innerhalb des jugendlichen Weichgewebes haben im allgemeinen nicht auch das Absterben des Zementmantels der Zahnwurzeln zur Folge, sodaß es auch nicht zur Einschmelzung der Wurzeloberfläche kommen kann. Gewebeskundlich müssen wir uns die Vorgänge vom kurzdauernden belanglosen Sauerstoffmangel der Gewebe bis zum Absterben eines größeren Stückes der unter Druck gesetzten Wurzelhaut mit seinen für die Zahnwurzeln bedenklichen Folgen als fließende Übergänge vorstellen. Der erste sichtbare Ausruck eines das Gewebsleben bedrohenden Mangels an Stoffwechsel im Druckbereich ist die sogenannte hyaline Entartung des Bindegewebes, dessen Fasern zu einer glasigen Masse zusammenbacken, in der die Zellkerne verschwunden sind. Hört nun in diesem Zustand der Druck auf, so erholt sich dieses Gewebe wieder, indem das in das hyaline Gebiet einströmende Blut die zusammengedrückten Blutgefäße rasch wieder durchgängig macht und aus der Umgebung sogleich neugebildete Bindegewebszellen einwandern, wie KAARE REITAN jüngst gezeigt hat. Diese lebhaften Gewebsvorgänge

inmitten eines vom Druck befreiten hyalinen Gebietes, die zu voller Wiederherstellung führen, beweisen, daß hyaline Entartung des Bindegewebes noch nicht Nekrose (Gewebestod) bedeutet. Es besteht also auch noch kein Anlaß für das Auftreten von Zellen, die totes Gewebe aufzulösen haben, um es zu beseitigen. Diese Aufgabe fällt den Ostoklasten zu. Erst diese aber bedeuten die große Gefahr für eine in ihrer Widerstandsfähigkeit durch die Stoffwechselunterbindung ebenfalls geschädigte Zahnwurzeloberfläche. Erst wenn also die Unterbrechung des Säftestromes solange anhält, bis es tatsächlich zum Ersticken eines größten unter Druck gesetzten Wurzelhautstückes gekommen ist, das auch nach dem Aussetzen des Druckes keiner Wiederbelebung mehr fähig ist und so auch die angrenzende Zementoberfläche zum Absterben bringt, sind die Vorbedingungen für jene auch der Zahnwurzeloberfläche gefährliche "Schuttabfuhr" gegeben, deren bezeichnendes Gewebsbild mit den seitens der lebendigen Umgebung massenhaft auftretenden Osteoklasten erstmalig SANDSTEDT beschrieben und als unterminierende Resorption bezeichnet hat. Nun hat sich hyalines Gewebe selbst noch nach einem mehrere Tage anhaltenden Druck als wiederbelebungsfähig erwiesen. Damit steht die Unschädlichkeit eines selbst zur Hyalinisierung führenden Druckes einer mittelstarken Kraft eine Nacht über außer Frage. Noch mehr gilt dies natürlich von Kräften, die auch während der Nacht wiederholte Unterbrechungen erfahren, wie das bei der FK0. und gewissen ihr verwandten Abwandlungen der aktiven Platte der Fall ist. Ganz anders, wenn auch nur eine mittelstarke Druckkraft so lange weiter auf die Wurzelhaut einwirkt, bis das eingeklemmte Gewebe unter dem Mangel an Blutzufuhr in größerem Umfange abstirbt. Im Bereich des abgestorbenen Weichgewebes können sich natürlich keine Osteoklasten bilden, sondern nur in der Umgebung, die unter einem nicht tödlichen, weil ja nach den Seiten hin abnehmenden Druck steht, so weit eben trotz der Einengung der gestaute Blutstrom noch gelangen konnte. Natürlich gehören auch die umliegenden Markräume des Zahnfachknochens zu der vom tödlichen Druck verschonten Umgebung. Diesen Osteoklasten der Umgebung des stärksten

Druckgebietes fällt nun die dringlichste Aufgabe zu, nämlich den toten Gewebsblock, der als giftiger Fremdkörper empfunden wird, schnellstens zu beseitigen. Bei dieser stürmischen Aufräumarbeit befallen nun die Osteoklasten gewöhnlich auch das Wurzelsegment sei es daß es seine natürliche Widerstandsfähigkeit gegen diese Zellen durch die Einwirkung von Zerfallstoffen des abgestorbenen Wurzelhautgewebes verloren hat, sei es aber auch, daß es selbst unter dem Mangel an Blutzufuhr abgestorben ist, kurz, das Wurzelsegment hat seine Unantastbarkeit seitens der Osteoklasten verloren und wird, wenn auch stets ungleich langsamer und in geringerem Ausmaß als der gegenüberliegende Zahnfachknochen, so doch gleichfalls angenagt. Der Einschmelzungsvorgang hat das Wurzelsegment bald durchsetzt und greift oft mehr oder weniger tief ins Zahnbein hinein. Ist nun der tote Gewebsblock inzwischen weggeräumt und wiederholt sich an dieser Stelle nicht von neuem das gefährliche Spiel, dann hört im allgemeinen auch die Wurzeleinschmelzung auf. Der entstandene Hohlraum an der Wurzeloberfläche wird von andersartigen Zellen, den Zementoblasten, mit einer frischen Zementschicht überzogen und mehr oder weniger ausgefüllt, und auf diesem jungen Untergrund finden wieder neue Sehnenbündel der Wurzelhaut ihren Ansatz, der Schaden ist ohne ernste Folgen für den Zahn und seine Festigkeit behoben. Hält aber der schädliche Druck an gleicher Stelle weiter an, so daß die Wurzelhaut in immer weiterem Ausmaß abstirbt, dann verliert auch der Zementmantel auf stets breiterer Fläche seine Widerstandskraft gegenüber den folgenden Einschmelzungsvorgängen und dies kann zu umfangreichen und tiefen Zerstörungen der Zahnwurzel führen. So können also mittelstarke Kräfte je nach ihrer Dauer einerseits sehr günstige und ungefährliche, andererseits recht bedenkliche Lebensvorgänge zur Folge haben. Dieses Zweierlei ist für den dritten biologischen Wirkungsgrad bezeichnend.

4. Kräfte des vierten biologischen Wirkungsgrades = starke Druckkräfte.

Diese zerquetschen das zwischen Zahnwurzel und Zahnfachwand eingeklemmte Weichgewebe. Dieses kann längere Zeit als tote Masse

zwischen den Hartgebilden liegenbleiben, deren Oberfläche gleichfalls abstirbt, sei es schon durch den Druck selbst, gleich dem Weichgewebe, sei es durch die Einwirkung der Gewebsgifte der toten Wurzelhautreste. Das zerquetschte Weichgewebe kann aber auch zwischen Zahn und Zahnfachknochen völlig zerrieben werden, so daß es zur Berührung der Hartgebilde kommt, die aneinander reiben ("Scheuerstelle"). Hierbei stirbt nicht nur der Zahnfachknochen bis in tiefe Schichten hinein, sondern auch die Wurzeloberfläche ab, die solcherart gegen die Osteoklasten wehrlos wird. Der Gewebstod befällt also meist auch noch tiefere Teile des Zahnfachknochens, so daß sich im Gebiete des stärksten Druckes ein abgestorbener Knochenblock vorfindet, der solange eine Bewegung der Zahnwurzel in der Kraft-richtung verhindert, bis er von seiten der am Leben gebliebenen Umgebung aufgelöst ist. Dies geschieht durch Osteoklasten, die sich von der lebenden Umgebung aus rings an den Block heranmachen. Die stürmischen Einschmelzungsvorgänge, "Rückenresorption" oder "unterminierende Resorption" genannt, befallen auch die beschädigte Zahnwurzel. Es kommt also zu grundsätzlich gleichen Schäden wie im Falle einer andauernden mittelstarken Kraft, nur nehmen sie wegen der viel längeren Dauer der Aufräumarbeiten auch wesentlich größeren Umfang an und reichen auch weiter in die Tiefe des Zahnbeins. Das ist der eine dauernde Schaden. Der andere Schaden ergibt sich aus den Folgezuständen der Blutungen. Infolge Zerquetschung der Blutgefäße kommt es in der Umgebung der Druckstelle gewöhnlich zu Blutungen in das Gewebe mit ihren bekannten Folgen. Das in das Gewebe austretende Blut gerinnt und kann durch Bindegewebe ersetzt werden, das sich zu Knochengewebe umwandelt. So kann es zu knöchernen Verwachsungen zwischen Zahnwurzel und Zahnfachknochen kommen. Dadurch verliert der Zahn seine natürliche Beweglichkeit sowie die Fähigkeit, mit der allgemeinen Kauhöhe des Gebisses hochzuwachsen, er bleibt als scheinbar verkürzter Zahn in einem zunehmenden Tiefstand gegenüber den Nachbarzähnen. Entsteht die Blutung im Bereich der Wurzelspitze, so kann sie sich bis weit ins Zahnmark hinein erstrecken und zu einer dauernden Verfärbung des Zahnes führen: es sei denn, daß das Zahnmark in Zusammenhang mit den Quetschungsvorgängen durch Abschnürung der Gefäße rasch abstirbt, sei es aber auch, daß der Markraum im Gefolge der Blutung langsam knö-

chern verödet. Als Spätfolge nach einem solchen Druckschaden verbleibt im günstigsten Falle eine mehr oder weniger tiefgreifende, durch nachträgliche Zementauflagerungen teilweise eingeebnete Einschmelzungsnarbe an der Zahnwurzel bei ansonsten wieder hergestelltem Wurzelhautspalt. Denn der Zahnfachknochen wird durchaus wieder bis zur Unkenntlichkeit der Schadenstelle neu ersetzt, es sei denn, daß die Druckstelle nahe dem Zahnfachrand entstanden wäre. Diesfalls geht gewöhnlich ein Stück des Randes für immer verloren. Im ungünstigsten Fall verbleibt als schwerer Dauerschaden eine verstümmelte Zahnwurzel mit knöcherner Verwachsung zwischen Zahn und Zahnfachknochen und abgestorbenem Zahnmark. Diese jedenfalls ungünstigen Gewebsvorgänge kennzeichnen den vierten biologischen Wirkungsgrad.

Die vorstehende Besprechung der vier biologischen Wirkungsgrade war zur Schaffung klarer Grundvorstellungen über die von unseren Behandlungsmaßnahmen hervorgerufenen Gewebsvorgänge in dieser Ausführlichkeit nötig. Sie sei nochmals kurz wie folgt zusammengefaßt: Wir unterscheiden kieferorthopädisch wirksame und unwirksame Kräfte. Kieferorthopädisch unwirksam sind die sogenannten unterschwelligen Kräfte des ersten biologischen Wirkungsgrades, die anderen sind kieferorthopädisch wirksam, wenn auch je nach Ausmaß verschieden günstig oder nachteilig. Allen kieferorthopädisch wirksamen Kräften gemeinsam ist ihre künstliche, also unnatürliche, d.h. von der gewohnten vorbestimmten Beanspruchung abweichende Angriffsweise. Am günstigsten arbeiten die schwachen und kurzwegigen Kräfte des zweiten biologischen Wirkungsgrades, ihnen gleichwertig sind die mittelstarken unterbrochenen Kräfte, gefährlich sind die mittelstarken andauernden, am schädlichsten die starken.

Mit dem Ausdruck "unterbrochene" Kräfte stoßen wir auf einen mehrdeutigen Begriff, der in den fachlichen Auseinandersetzungen seinen Sinn wiederholt gewechselt und dadurch Mißverständnisse verursacht hat. Als die wochen- bis monatelang anhaltenden Federkräfte der amerikanischen Drahtbehelfe aus hochwertigen Edelmetallen aufkamen, wurden diese in Gegensatz zu den Kräften gesetzt, die durch Anbinden von Zähnen an den ANGLE-Bogen ausgelöst wurden. Da diese im allgemeinen nur einige Tage lang wirken,

um dann allmählich abzuklingen, bis eine neuerliche Anspannung sie wieder zu voller Wirkung bringt, nannte man sie, im Gegensatz zu jenen Wochen bis Monate lang anhaltenden Dauerkräften der Edelmetallfedern, unterbrochene Kräfte, und manche glaubten, daß diese Kräfte weniger schädlich seien als die anhaltenden, weil man die mehrtägigen Pausen des Abklingens als eine Erholung für das Gewebe deutete. Heute wissen wir, daß das ein Irrtum war, denn diese im allgemeinen mittelstarken Kräfte unterdrückten die Blutzufuhr im Druckbereich der Wurzelhaut mehrere Tage hindurch. Eine so lange Unterbrechung des Säftestromes aber verurteilte selbst das jugendliche Gewebe zum Zelltod in weitem Umfang, kein Wunder also, daß so behandelte Zähne fast immer mehr oder weniger tiefgreifende Wurzeleinschmelzungen aufwiesen. Nach dem oben Ausgeführten war das die selbstverständliche Folge einer zeitlich die Verträglichkeitsgrenze der Wurzelhaut überschreitenden Kraft. Im Sinne des dritten biologischen Wirkungsgrades müssen also auch die durch Anbinden an den Bogen verursachten Kräfte, die sogenannten "Ligaturenkräfte", als Dauerkräfte angesprochen werden. In diesem gewebeskundlichen Sinne dürfen wir als unterbrochene Kräfte nur solche verstehen, die höchstens eine Nacht über anhalten und nach dieser Zeit das zusammengedrückte Weichgewebe wirklich wieder erholen, sozusagen frei aufatmen lassen. Zwar unterscheiden sich auch diese Kräfte noch sehr von den weniger als Sekunden lang anhaltenden, also in ganz kurzen Zeitabständen an- und abschwellenden Kräften, etwa der Kautätigkeit. Inwiefern aber doch diese beiderlei und auch die schwachen Dauerkräfte der Drahtfedern und kurzwegigen der heutigen Schrauben lebenskundlich in gleiche Linie gestellt werden dürfen, haben wir eben bei Besprechung des zweiten biologischen Wirkungsgrades kennengelernt."

Ebenfalls in den 30iger Jahren veröffentlichten SEIMETZ (52), NOWACK (38), BERTRAM (3) und YAMANDA (68) Arbeiten, die sich mit kieferorthopädisch wirksamen Kräften befassen, in den 60er Jahren tat dies vor allem WITT (64, 63, 65, 66). Er fand u.a., daß die augenblickliche Zahnauslenkung unmittelbar von der physi-

kalischen Kraftgröße abhängt, daß aber für die Beurteilung einer kieferorthopädischen Kraft eigentlich nur die Auslenkung des Zahnes in Abhängigkeit von der Zeit maßgebend ist. Er stellte fest, daß für den Umfang der Auslenkung die Größe der Kraft nicht die entscheidende Rolle spielt, wichtiger sind die Hubhöhe der Kraft und der Zeitfaktor, da z.B. bei Krafteinwirkung von 10 p nach 40 Min. immer noch kein Gleichgewicht zwischen Kraft und Widerstand des Parodontiums besteht. Kieferorthopädische Bewegungen sind also mit ganz geringen Kräften möglich. TRAUNER (57) berichtete 1968, daß die Wirkung einer kieferorthopädisch relevanten Kraft gleich sei

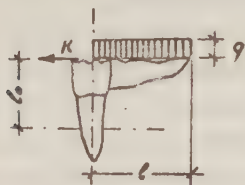
Kraft x Zeit

Widerstand des Periodontiums

Bei freiem Intervall könne eine stärkere Kraft einwirken, ohne daß das Periodontium leide. Der Spielraum zwischen zu starken und zu schwachen Kräften läge bei etwa 50 p. Je nach Wurzeloberfläche betragen die günstigsten Kräfte zwischen 70 und 150 p.

11. Diskussion

1. Die Größe der extraaxialen Kräfte bei freientenden Brücken während des Kauaktes im Seitenzahnbereich wird sehr hoch sein. (Größenverhältnis $\frac{2}{\ell_0}$ ergibt $K \approx q \cdot \ell = \text{vertikale Kaukraft}$).



$$M = \frac{q \cdot \ell^2}{2} = K \cdot \ell_0;$$

$$(\text{aus } \Sigma M \stackrel{!}{=} 0)$$

Siehe Beobachtungen von SCHWICKERATH (51).

Daher wird die Einleitung der Kaukräfte und damit die Kauleistung durch die sensible Steuerung des Periodontiums drastisch reduziert werden. Eine Wiederherstellung der Kaufunktion durch freientende Brücken im Seitenzahnbereich erscheint demnach nicht möglich. Eine Argumentation, die sagt, man könnte reduzieren durch entsprechend schmale Gestaltung des Freientgliedes, ist nicht stichhaltig, da der limitierende Faktor für die extraaxiale Kraft "K" beim Kauen nicht die Fläche des Freientgliedes ist, sondern die sensible Steuerung des Periodontiums an dem oder den Pfeilerzähnen. Nach Eingliederung einer freientenden Brücke wird der Patient diesen Bereich beim Kauen meiden, was zu Schäden infolge Inaktivität führen kann.

2. Die Größe der durch Parafunktionen im Schlaf auftretenden Kräfte ist im Allgemeinen nicht höher als die der Kaukräfte (KRAFT(28)). Die extraaxialen Anteile werden aber im Schlaf nicht sensibel gesteuert und können daher voll wirksam werden. Da die Kraftinsulte meist recht kurz sind, zeigen sie bei der Masse der Patienten keine negativen Auswirkungen. Bei einem geringen Prozentsatz der Patienten allerdings kann die zeitliche Dauer der Kaumuskelaktionen erhebliche Ausmaße annehmen. Eine freientende Brücke im Seitenzahnbereich würde hier zu starken und langandauernden Horizontalkräften führen, die innerhalb kurzer Zeit zu schweren Schäden an den Pfeilerzähnen führen müssen.

3. Geringfügige Kaukräfte, Kräfte durch Leermastikation, Schlucken, Spielstellung usw. werden als Vertikalkräfte durch das Freidendglied zu Horizontalkräften für die Pfeilerzähne umgewandelt. Diese Kräfte wirken häufig und über einen langen Zeitraum und werden so zu kieferorthopädisch-wirksamen Kräften. Dabei ist hier unerheblich, ob es zu Zahnwanderung und Kippung oder auch zur Schädigung des Zahnbettes kommt, die Folgen sind gleichermaßen unerwünscht.

Hier sei nochmals MARXKORS (35) zitiert: "... wurde untersucht, wie sich die extraalveolär angreifende Kraft auf das Paradontium des Zahnes auswirkt. Es wurde nachgewiesen, daß der horizontale Knochenabbau, soweit er von Fehl- und Oberbelastungen abhängig ist, in parabolischer Abhängigkeit von der einwirkenden Horizontalkraft steht; der horizontale Abbau nimmt also in gleichen Zeiteinheiten progressiv zu. Für die Therapie ergibt sich daraus die Konsequenz, Horizontalbelastungen nach Möglichkeit zu vermeiden oder auf ein Mindestmaß zu reduzieren..."

Zu vermeiden wären diese Folgen nur durch Herstellen einer Non-okklusion, was wiederum nur in einem eigenstabilen Gebiß möglich ist, oder wenn sowieso der Antagonist des Freidendgliedes fehlt.

4. Zusammenfassend kann gesagt werden: Nach FUHR (12) besteht die Indikation für festsitzenden Ersatz bei Reduzierung des Kauvermögens, Beeinträchtigung des Aussehens und Einbuße der Sprachfunktion, sowie aus prophylaktischen Gründen.

a) Wie unter 1. ausgeführt, kann die Kaufunktion durch eine freiziehende Brücke im Seitenzahnbereich nicht wiederhergestellt werden.

b) Phonetische und ästhetische Funktionen treten im Seitenzahnbereich in den Hintergrund. Sollten sie doch eine Rolle spielen (z.B. bei bestimmten Berufen), können freiziehende Brücken nur unter den bei Punkt 3 genannten Voraussetzungen eingegliedert werden.

c) Prophylaktische Funktionen kann ein Freidendglied nur dann erfüllen, wenn es Kräfte aufnimmt. Dies führt aber wiederum zu den unter Punkt 3 genannten Folgen.

Das Schlußwort möchte ich nochmals UHLIG (58) geben und ihm, obwohl ich Ingenieur bin, zustimmen: "...Ingenieurtechnische Berechnungen über Spannweiten, Pfeilerzahl und Kauflächenausmaße erscheinen darum wenig sinnvoll und nutzbringend, indem sie primär Kraftinsulte fiktiver Größe und Richtung annehmen, denen das lebendige Gewebe passiv ausgeliefert ist, ignorieren sie die wahren vitalen Verhältnisse, bei denen Krafterzeugung und Lenkung eine sinnvolle Sekundärfunktion der Steuerungsorgane und nervösen Einrichtungen sind, deren Anlage wohl stets unberechenbar bleibt..."

C Zusammenfassung

Anhand der aufgeführten Literatur wurde versucht herauszufinden, ob es nicht doch Möglichkeiten für die Anwendung von freientendenden Brücken im Seitenzahnbereich gibt. Ausgehend vom Wunsche des Patienten, festsitzenden Zahnersatz eingegliedert zu erhalten, wurde die Dringlichkeit der Verwirklichung eines derartigen Ersatzes aufgezeigt. Da eine umfassende Darstellung möglichst vieler in diesem Zusammenhang interessierender Grundlagen notwendig erschien, um entsprechende Schlüsse ziehen zu können, sind die wichtiger erscheinenden relevanten Fakten in Form von Zitaten ausführlich dargelegt.

Aufgezeigt sind zunächst die bei Nahrungszerkleinerung und Para-funktionen auftretenden Kräfte hinsichtlich ihrer Größe und Einwirkungsdauer. Man findet hier in der Literatur je nach Versuchsanordnung und Versuchsperson sehr unterschiedliche Angaben. Insgesamt gesehen kann man die Kräfte aber entsprechend den vier biologischen Wirkungsgraden nach SCHWARZ im Falle eines extra-axialen Wirksamwerdens in die zweite, dritte und vierte Gruppe einordnen.

Es wurde dann eingegangen auf Anatomie und Physiologie des Parodontiums und auf Verformung und Bewegung des Zahnes bei Einwirken verschiedener Kräfte. Außerdem sollten noch statische und dynamische Gesichtspunkte bei der Betrachtung des Zahnhalteapparates das Verständnis für die mechanischen und biologischen Vorgänge an Zahn und Parodontium vertiefen.

Anschließend wurden die irreversiblen Auswirkungen von unphysiologischen Kräften geschildert. Hieraus ergeben sich die entscheidenden Argumente, die in der Diskussion dazu führen, die Indikation für freientendende Brücken im Seitenzahnbereich nur in Ausnahmefällen zu sehen. Dies wird auch bestätigt durch die analoge Anwendung der Erkenntnisse, die in der Kieferorthopädie gewonnen wurden, die ja mit extraaxialen Kräften arbeitet.

Insgesamt kann also nach dem Studium der aufgeführten Literatur die Indikationsstellung für freilebende Brücken über die derzeitige Lehrmeinung hinaus nicht erweitert werden.

D Literaturverzeichnis

- (1) A n d e r s o n, D.:

Druckmessung beim Kauakt.
Zahnärztl. Rdsch. 67, 1958, 289.

- (2) B e c k, G.:

Untersuchung über das Verhalten menschlicher Zähne
beim Kauvorgang.
Dtsch. zahnärztl. Z. 11, 1956, 162.

- (3) B e r t r a m, C.:

Die Kräfte der orthodontischen Gummiligaturen.
Fortschr. Orthodont. 1, 1931, 605.

- (4) B o r e l l i:

De motu animalium.
Rom, Jesuitenschule, 1681.

- (5) B r e w e r, A. u. H u d s o n, D.:

Anwendung miniaturgroßer elektronischer Vorrichtungen
zum Studium von Zahnkontakten in totalen Prothesen.
Quintessenz, 4, 1961, 41.

- (6) C a s e, C.S.:

aus Schwarz "Lehrgang der Gebißregelung."
Bd. 2
Urban u. Schwarzenberg 1953.

- (7) E i c h n e r, K.:

Messung der Kräfte bei Kauvorgängen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 1963, 915.

- (8) E i c h n e r, K., H e r r m a n n, D., M u n k, P.:

Kaueffektsprüfungen mit verschiedenen Verfahren bei
natürlichen und künstlichen Gebissen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1954, 1427.

- (9) E i c h n e r, K.:
Aufschlüsse über den Kauvorgang durch elektronische
Kaukraftmessungen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 1964, 415.
- (10) F ö p p l u. M ö n c h:
Praktische Spannungsoptik.
Springer Verlag 1959.
- (11) F r ö h l i c h, E.:
Der marktote Zahn als Brückenpfeiler.
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 1969, 732.
- (12) F u h r, K.:
Die festsitzende Brücke.
In: Praxis der Zahnheilkunde
D. Haunfelder et al., (Hrsg.)
München, Berlin, Wien, Bd. 3
1972, C 7.
- (13) H ä u p l, K., K i r s t e n, H., R e h m, H.:
Zahnärztliche Prothetik.
Bd. 1
Joh. A.B. Verlag, Leipzig, 1951
- (14) H o f m a n n, M.:
Das Kraft-Weg-(Zeit)-Diagramm in der Periodontometrie.)
Dtsch. Zahnärztebl. 17, 1963, 143.
- (15) H o f m a n n, M.:
Pfeilerkinematik und Abstützung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1967, 1315.
- (16) H o f m a n n, M.:
Zahnbeweglichkeit - Bestimmung und Analyse.
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 1963, 924
- (17) J o u r d a n t, R., J u n g, T., P r i m u s, J.F.:
Spannungsoptische Untersuchungen an Brückenmodellen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 1968, 1482.

(18) J u n g, F.:

Die funktionell-elastische Deformation des Kieferknochens und die Eigenbeweglichkeit der Zähne.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 70, 1960, 17.

(19) J u n g, F.:

Die Elastizität der Skeletteile des Gebißsystems.
Stoma 5, 1952, 74.

(20) K e i l, A.:

Zahnhöckerneigung und Kaukraftwirkung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1954, 1303.

(21) K l ö t z e r, W.:

Spannungsoptische Festigkeitsuntersuchungen einiger Prothesentypen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 1964, 375.

(22) K l ö t z e r, W.:

Ober die elastische Deformation der Brückenzwischenglieder.
Zahnärztl. Welt 61, 1960, 13 u. 45.

(23) K ö r b e r, K.H.:

Untersuchungen über die kaufunktionelle Beanspruchung des Zahnes.
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 1963, 576.

(24) K ö r b e r, K.H.:

Untersuchung zur Biophysik des Parodontiums.
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1962, 1585.

(25) K ö r b e r, K.H.:

Die elastische Deformierung menschlicher Zähne.
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1962, 691.

(26) K ö r b e r, K.H. u. K ö r b e r, E.:

Biegeschwingungen menschlicher Zähne.
Dtsch. Zahnärztebl. 16, 1962, 388.

(27) K r a f t, E.:

Ober die Beziehung zwischen Zahnabrieb und Kaumuskel-
tätigkeit.
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 1961, 307.

(28) K r a f t, E.:

Ober eine Untersuchung der menschlichen Kaumuskel-
tätigkeit während des Nachtschlafes.
Stoma 12, 1959, 213
Stoma 13, 1960, 7.

(29) K r a f t, E.:

Ober die Bedeutung der Kaukraft für das Kaugeschehen.
Zahnärztl. Praxis 13, 1962, 129.

(30) K r ü g e r, E.:

Lehrbuch der chirurgischen Zahn-, Mund- und Kieferheil-
kunde.
Bd. 2 "Die Quintessenz", Berlin 1974.

(31) L a n g e n, D.:

Psychosomatische Aspekte beim Einfügen des Zahnersatzes.
In: Praxis der Zahnheilkunde
D. Haunfelder et al., (Hrsg.)
München, Berlin, Wien, Bd. 3
1972, C 22.

(32) M a r t i n k o, V.:

Einige Gedanken zum Problem der Messungen von Kräften
bei Kauvorgängen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 20, 1965, 910.

(33) M a r x, H.:

Die funktionsbedingten elastischen Deformierungen der
menschlichen Mandibula.
Med. Habil.-Schr., Mainz 1967.

(34) M a r x, H.:

Zur Dynamik der aus der elastischen Kieferdeformierung
stammenden Zahnbewegung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1967, 1310.

(35) M a r x k o r s, R.:

Statische und physiologische Überlegungen über die Auswirkungen von Kräften, die an der Zahnkrone angreifen.

Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1962, 1359.

(36) M o t s c h, A., M ü s s i g, V., V e t t e r, F.:

Dreidimensionale spannungsoptische Zahnmodelle - ihre Herstellung und Anwendung zur Untersuchung statischer Probleme.

Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 1970, 343.

(37) M o t s c h, A., G a u s s, O.:

Spannungsoptische Untersuchungen über Frontzahnbrückenanker.

Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 1969, 797.

(38) N o w a c k, L.:

Die mechanischen Kräfte der Fingerfederchen.

Fortschr. Orthodont. 1, 1931, 69.

(39) P e t e r h a n s, P.:

Psychologische Probleme innerhalb der prothetischen Behandlung.

In: Meng: Psychologie in der zahnärztlichen Praxis. Huber, Bern-Stuttgart, 1952.

(40) P o r t m a n n, A.:

Neue Wege der Biologie.

Piper, München, 1961.

(41) R e d t e n b a c h e r, K.:

Über die Grenzwerte der physiologischen Kaukraft und deren Wirkung auf Kronen und Brücken nach dem Assemblingverfahren (ATR-System).

Quintessenz, zahnärztl. Lit., Ref. 2450, 1964.

(42) R e h m, H., K ö r b e r, E., K ö r b e r, K.H.:

Biophysikalischer Beitrag zur Problematik starr abgestützter Freiidprothesen.

Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1962, 963.

(43) R e i c h b o r n - K j e n n e r u d:

Funktionell-prothetische Behandlung und Prophylaxe der Zahnlockerung und der Dysgnathien.
Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin, 1956.

(44) R o h r b a c h, Chr., E i c h n e r, K.:

Messung der Kräfte beim Kauvorgang mit Widerstandsmeß-
dosen v. Molarengroße ohne Behinderung v. Okklusion und
Artikulation.
Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 1958, 146.

(45) S c h r e i b e r, S.:

Ein neues Gerät zur Messung und Registratur von Kaukräften.
Zahnärztl. Rdsch. 66, 1957, 127.

(46) S c h r ö d e r, H.:

Lehrbuch der technischen Zahnheilkunde.
Bd. I.

(47) S c h u m a c h e r, G.H.:

Anatomie und Physiologie des Parodontiums.
Dtsch. Stomat. 12, 1962, 309.

(48) S c h w a r z, A.M.:

Mathematische Oberprüfung des Verhaltens belasteter Zähne.
Zschr. f. Stomat., 1928, 398.

(49) S c h w a r z, A.M.:

Lehrgang der Gebißregelung.
Bd. 2, Verlag Urban und Schwarzenberg, Wien 1956

(50) S c h w i c k e r a t h, H.:

Zur Zahnbewegung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1967, 21.

(51) S c h w i c k e r a t h, H.:

Die Belastbarkeit von Brückenkonstruktionen in Abhängig-
keit vom Material und der Konstruktion.
Dtsch. zahnärztl. Z. 29, 1974, 859.

- (52) S e i m e t z, H.:
Ober die Kraftauswirkungen orthodontischer Federn.
Fortschr. Orthodont. 8, 1938, 674.
- (53) S i n g e r, F.:
Grenzen des festsitzenden Zahnersatzes und Übergänge
zum abnehmbaren Zahnersatz.
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1954, 143.
- (54) S t e i n u. W e i n m a n n:
Die physiologische Wanderung der Zähne.
Zschr. f. Stomat. 1925, 733.
- (55) v a n T h i e l, H.:
Die Methodik des festsitzenden Zahnersatzes.
Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1954, 128.
- (56) T h i e l e m a n n, K.:
Biomechanik der Paradentose.
Joh. Ambrosiuns Barth, München 1956, 2. Auflage.
- (57) T r a u n e r, R.:
Ober die Bewegung von Zähnen mit dosierten Kräften.
Fortschr. Kieferorth. 29, 1968, 249.
- (58) U h l i g, H.:
Ober die Kaukraft.
Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 1953, 30.
- (59) V e s t, G.:
Lehrbuch der zahnärztlichen Kronen- und Brückentechnik.
Bd. 2, Birkhauser Verlag, Basel 1960
- (60) V o s s, R.:
Die Form der freischwebenden Brücke.
Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1962, 1649.
- (61) W e b e r - T h e d y, K.W.:
Die Zuggurtungsfunktion der Wurzelhaut, oder wie die
Toleranzquint die Wurzelhaut bewertet.
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 1964, 426.

(62) W e b e r - T h e d y, K.W.:

Die biodynamische Toleranzbreite - die Toleranzquint - des Mundorgans und ein erstes erprobtes Beispiel ihrer Anwendung.

Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 1961, 947.

(63) W i t t, E.:

Experimentelle Untersuchungen über die zeitlichen Veränderungen kieferorthopädischer Kräfte.

Fortschr. Kieferorth. 27, 1966, 48.

(64) W i t t, E.:

Messung von Kraftgrößen und Kraftwirkungen kieferorthopädischer Plattenapparate.

Dtsch. zahnärztl. Z. 20, 1965, 937.

(65) W i t t, E.:

Kraftmessung und Kraftanalyse beim Tragen der Vorhofplatte.

Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 76, 1966, 178.

(66) W i t t, E.:

Experimentelle Untersuchungen über die schiefe Ebene. Stoma, 20, 1967, 174.

(67) W o l f, H.:

Spannungsoptik.

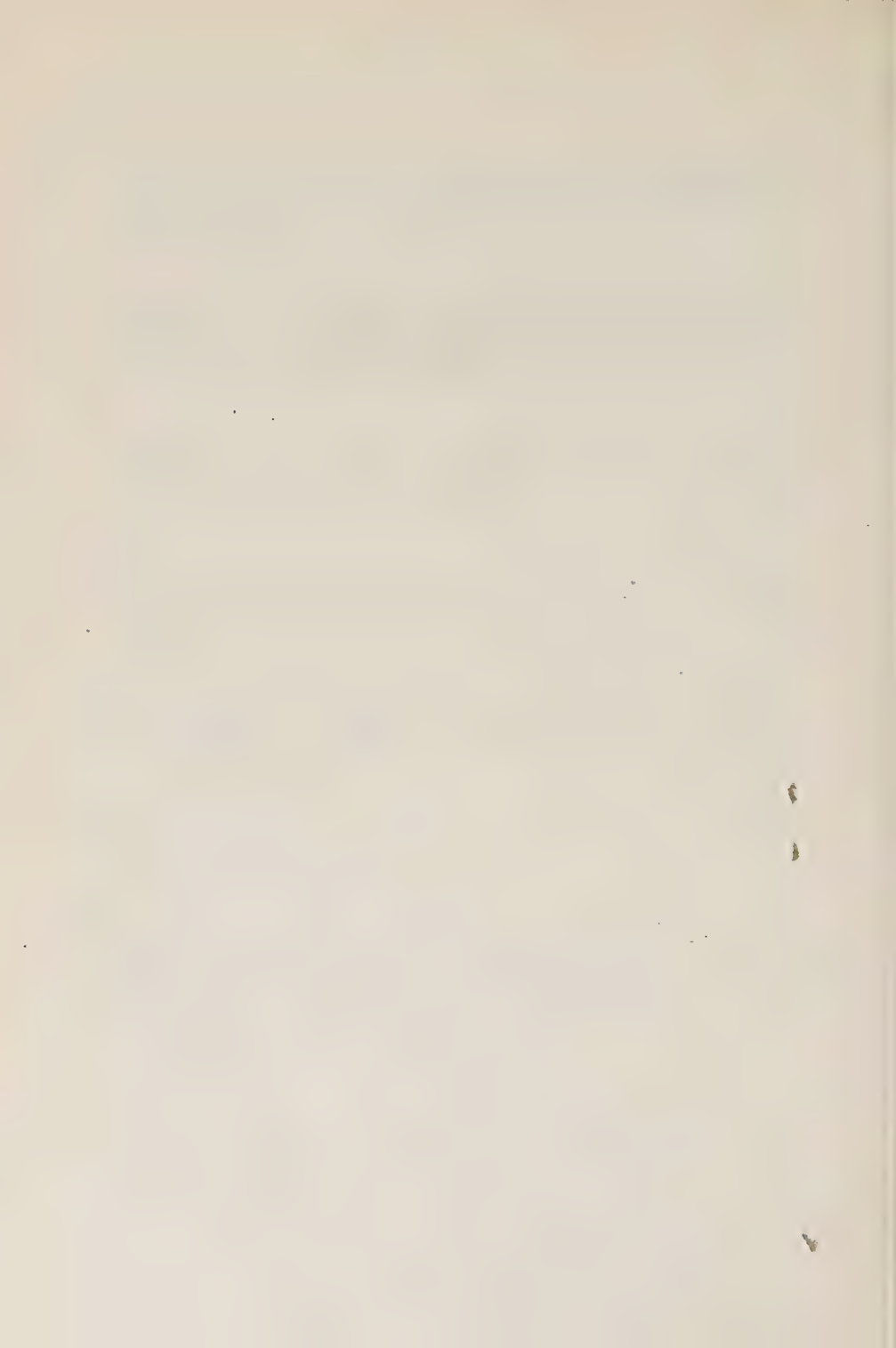
Springer Verlag, 1961.

(68) Y a m a n d a, S.:

Ober die Elastizität der orthodontischen Gummiligatur.

Fortschr. Orthodont. 5, 1936, 768.

Mein Dank gilt Prof. Dr. K. FUHR
für die Überlassung des Themas
und Prof. Dr. H. MARX für die
Übernahme des zweiten Gutachtens.



E Lebenslauf

Am 19.10.1939 wurde ich als erstes von zwei Kindern des Elektroingenieurs Claus Stürmer und dessen Ehefrau Else, geborene Hoeing, in Nürnberg geboren.

Nach vier Jahren Volksschule besuchte ich 1951 - 1959 das Neue Gymnasium (Humanistisches Gymnasium) in Bamberg, wo ich im Juli 1959 das Reifezeugnis erhielt. Anschließend diente ich als Soldat auf Zeit zwölf Jahre in der Bundeswehr. Während dieser Zeit unterzog ich mich einer dreijährigen Ausbildung zum Bauingenieur und erhielt 1968 mit Ablegen des Examens die Graduierung zum Ingenieur (grad.) für Ingenieurbau.

Zum Wintersemester 1971/72 immatrikulierte ich mich zum Studium der Zahnheilkunde an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz und schloß das Studium im Herbst 1976 mit dem Staatsexamen ab.

Seit 1962 bin ich verheiratet mit Ursel Stürmer, geborene Schmahl. Wir haben zwei Töchter, Birgit, geb. am 27.12.1966 und Christine, geboren am 13.9.1968.

